



***CIRAD Montpellier
Unité de Recherche Hortsys***

**ANALYSE DU CYCLE DE VIE
LES PETITS AGRUMES PRODUITS AU MAROC ET
CONSOMMES EN FRANCE**

*HEITZ Hadrien
BASSET-MENS Claudine
VANNIERE Henri*

Mars 2011

Fin de CONFIDENTIALITE 31-12-2014

Table des matières

Table des matières	2
Table des illustrations	4
CONTEXTE DE L'ETUDE	7
Etat des lieux des ACV en arboriculture fruitière	8
1. Commanditaire de l'étude	9
2. Définition des objectifs et champ d'étude	9
2.1. Identification des systèmes étudiés	9
2.2. L'unité fonctionnelle	16
2.3. Les frontières du système	16
2.4. Qualité des données	17
2.5. Règles d'allocation	17
2.6. Méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie	17
2.6.1. Les catégories d'impact étudiées	17
2.6.2. Méthodes de caractérisation	18
3. Cycle de Vie des petits agrumes	19
4. Etapes du Cycle de Vie des petits agrumes : Production sur le verger	21
4.1. Description sommaire des vergers	21
4.2. Les opérations culturales – carburant consommé	21
4.3. Irrigation : eau et énergie	23
4.3.1. Estimation des besoins en eau d'irrigation	23
4.3.2. Consommation énergétique	24
4.4. Fertilisation : production et utilisation de fertilisants	27
4.5. Protection du verger : production et utilisation de pesticides	30
4.6. Autres interventions	31
4.7. Autres aspects : mise en place du verger	32
4.7.1. Production de plants au sein d'une pépinière	32
4.7.2. Aménagements avant plantation	33
4.8. Synthèse agronomique de la vie entière du verger	33
4.9. Fabrication et entretien des machines agricoles	38
4.10. Emissions au champ : azote, phosphore et pesticides	39
4.10.1. Emissions dans l'air	39
4.10.2. Emissions dans l'eau	41
4.10.3. Emissions dans le sol	46
4.11. Autres émissions directes : gaz et particules émises par combustion de diesel	49
4.12. Emissions indirectes	49
5. Etapes du Cycle de Vie des petits agrumes : Post-verger	50

5.1.	Conditionnement des fruits -----	50
5.2.	Transport des fruits-----	52
6.	Résultats de l'ACV : Analyse de contribution -----	54
6.1.	Résultats pour le système SN (Souss)-----	54
6.2.	Résultats pour le système OC (Oriental)-----	81
7.	Analyse de sensibilité-----	113
7.1.	Rendement -----	113
7.2.	Pesticides-----	116
7.2.1.	Influence du nombre de traitements insecticides -----	116
7.2.1.1.	Traitement contre le pou de Californie -----	116
7.2.1.2.	Traitement contre la cératite -----	120
7.2.2.	Influence du traitement herbicide sur le verger OC-----	121
7.3.	Influence de la méthode d'allocation-----	121
7.4.	Influence des distances de transport -----	125
	Références -----	130
	ANNEXES-----	132

Table des illustrations

Figure 1 – Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région Centre du Maroc	10
Figure 2 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région du Gharb	10
Figure 3 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région du Souss	11
Figure 4 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région de l'Oriental	11
Figure 5 - Systèmes d'irrigation au Maroc en % de la superficie d'agrumes de chaque région	13
Figure 6 - Cycle de Vie générique des petits agrumes produits au Maroc et consommés en France	20
Figure 7 – Principales caractéristiques agronomiques au cours de la vie du verger SN	35
Figure 8 - Principales caractéristiques agronomiques au cours de la vie du verger OC	36
Figure 9 - Camion solo transportant les fruits depuis le verger jusqu'à la station de conditionnement (Heitz)	52
Figure 10 – Analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)	55
Figure 11 - Analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger	57
Figure 12 – Epuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles	59
Figure 13 - Epuisement des ressources naturelles, système SN, verger	59
Figure 14 – Processus contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles	60
Figure 15 – Substances contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles	60
Figure 16 – Acidification, système SN, marché St Charles	61
Figure 17 – Acidification, système SN, verger	61
Figure 18 – Processus contribuant à l'acidification, système SN, marché St Charles	62
Figure 19 - Substances contribuant à l'acidification, système SN, marché St Charles	62
Figure 20 – Eutrophisation, système SN, marché St Charles	63
Figure 21 – Eutrophisation, système SN, verger	63
Figure 22 – Processus contribuant à l'eutrophisation, système SN, marché St Charles	64
Figure 23 - Substances contribuant à l'eutrophisation, système SN, marché St Charles	64
Figure 24 – Réchauffement climatique, système SN, marché St Charles	65
Figure 25 – Réchauffement climatique, système SN, verger	65
Figure 26 – Processus contribuant au réchauffement climatique, système SN, marché St Charles	66
Figure 27 - Substances contribuant au réchauffement climatique, système SN, marché St Charles	66
Figure 28 – Toxicité humaine, système SN, marché St Charles	67
Figure 29 – Toxicité humaine, système SN, verger	67
Figure 30 – Processus contribuant à la toxicité humaine, système SN, marché St Charles	68
Figure 31 - Substances contribuant à la toxicité humaine, système SN, marché St Charles	68
Figure 32 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles	69
Figure 33 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, verger	69
Figure 34 – Processus contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles	70
Figure 35 - Substances contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles	70
Figure 36 – Ecotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles	71
Figure 37 – Ecotoxicité terrestre, système SN, verger	71
Figure 38 – Processus contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles	72
Figure 39 - Substances contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles	72
Figure 40 – Demande en eau, système SN, marché St Charles	73
Figure 41 – Demande en eau, système SN, verger	73
Figure 42 – Processus contribuant à la demande en eau, système SN, marché St Charles	74
Figure 43 – Demande énergétique, système SN, marché St Charles	74
Figure 44 – Demande énergétique, système SN, verger	75
Figure 45 – Processus contribuant à la demande en énergie, système SN, marché St Charles	75
Figure 46 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995	77
Figure 47 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger/West Europe 1995	79
Figure 48 – Analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)	82
Figure 49 - Analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger	84
Figure 50 – Epuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles	86

Figure 51 - Epuisement des ressources naturelles, système OC, verger	86
Figure 52 – Processus contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles	87
Figure 53 – Substances contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles	87
Figure 54 – Acidification, système OC, marché St Charles	88
Figure 55 – Acidification, système OC, verger	88
Figure 56 – Processus contribuant à l'acidification, système OC, marché St Charles	89
Figure 57 - Substances contribuant à l'acidification, système OC, marché St Charles	89
Figure 58 – Eutrophisation, système OC, marché St Charles	90
Figure 59 –Eutrophisation, système OC, verger	90
Figure 60 – Processus contribuant à l'eutrophisation, système OC, marché St Charles	91
Figure 61 - Substances contribuant à l'eutrophisation, système OC, marché St Charles	91
Figure 62 – Réchauffement climatique, système OC, marché St Charles	92
Figure 63 – Réchauffement climatique, système OC, verger	92
Figure 64 – Processus contribuant au réchauffement climatique, système OC, marché St Charles	93
Figure 65 - Substances contribuant au réchauffement climatique, système OC, marché St Charles	93
Figure 66 – Toxicité humaine, système OC, marché St Charles	94
Figure 67 – Toxicité humaine, système OC, verger	94
Figure 68 – Processus contribuant à la toxicité humaine, système OC, marché St Charles	95
Figure 69 - Substances contribuant à la toxicité humaine, système OC, marché St Charles	95
Figure 70 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles	96
Figure 71 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, verger	96
Figure 72 – Processus contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles	97
Figure 73 - Substances contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles	97
Figure 74 – Ecotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles	98
Figure 75 – Ecotoxicité terrestre, système OC, verger	98
Figure 76 – Processus contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles	99
Figure 77 - Substances contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles	99
Figure 78 – Demande en eau, système OC, marché St Charles	100
Figure 79 – Demande en eau, système OC, verger	100
Figure 80 – Processus contribuant à la demande en eau, système OC, marché St Charles	101
Figure 81 – Demande énergétique, système OC, marché St Charles	101
Figure 82 – Demande énergétique, système OC, verger	102
Figure 83 – Processus contribuant à la demande en énergie, système OC, marché St Charles	102
Figure 84 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995	104
Figure 85 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger/West Europe 1995	106

Tableau 1 – Evolution des exportations vers la France de clémentines produites dans le Souss et l'Oriental	12
Tableau 2 - Consommation de diesel et d'énergie par les opérations mécanisées sur le verger SN au cours d'une année de production (région du Souss)	22
Tableau 3 - Consommation de diesel et d'énergie par les opérations mécanisées sur le verger OC au cours d'une année de production (région de l'Oriental)	22
Tableau 4 - Demande énergétique annuelle (Ef) de la pompe puisant l'eau dans la nappe phréatique	25
Tableau 5 - Demande énergétique annuelle (Ep) de la pompe alimentant la parcelle	26
Tableau 6 - Demande énergétique annuelle (E) du barrage pour l'alimentation en eau du verger	27
Tableau 7 - Bilan de fumure NPK au cours de la vie du verger SN (Souss)	28
Tableau 8 - Bilan de fumure NPK au cours de la vie du verger OC (Oriental)	29
Tableau 9 – Quantité de pesticides utilisée annuellement sur les vergers SN et OC	30
Tableau 10 - Demande énergétique des pompes d'irrigation de la pépinière	32
Tableau 11 – Programme de protection phytosanitaire d'un plant de pépinière	32
Tableau 12 – Déchets générés sur la pépinière et scénario de traitement	33
Tableau 13 – Caractéristiques agronomiques selon les stades de vie du verger SN	37
Tableau 14 - Caractéristiques agronomiques selon les stades de vie du verger OC	37
Tableau 15 – Méthode de calcul des nitrates potentiellement lessivables	41

Tableau 16 – Azote contenu dans la structure d'un clémentinier	43
Tableau 17 – Synthèse des émissions vers l'environnement pour le verger SN	47
Tableau 18 – Synthèse des émissions vers l'environnement pour le verger OC	48
Tableau 19 – Emissions générées par la combustion d'un kilogramme de diesel	49
Tableau 20 – Origine de la production d'électricité au Maroc (2007)	49
Tableau 21 – Pesticides utilisés sur la chaîne de conditionnement	50
Tableau 22 – Détails de l'étape d'emballage au sein de la station de conditionnement	50
Tableau 23 – Distances parcourues entre le lieu de production des fruits et St Charles (Système SN)	53
Tableau 24 – Distances parcourues entre le lieu de production des fruits et St Charles (Système OC)	53
Tableau 25 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)	56
Tableau 26 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger	58
Tableau 27 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995	78
Tableau 28 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger/West Europe 1995	80
Tableau 29 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)	83
Tableau 30 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger	85
Tableau 31 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995	105
Tableau 32 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger/West Europe 1995	107

CONTEXTE DE L'ETUDE

La loi Grenelle 2, par le biais de l'engagement 228, a décidé d'établir un affichage des informations environnementales sur tous les biens et services de consommation. Pour cela, dès le 1^{er} juillet 2011 et pour un an, 168 entreprises expérimenteront un nouvel affichage sur 1 000 produits de tous secteurs.

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) a été choisie comme méthode de référence pour renseigner l'affichage environnemental. Elle permet d'évaluer les impacts environnementaux de produits, ou de services, au cours de tout leur cycle de vie, depuis l'extraction de leurs matières premières jusqu'à leur fin de vie. Cette évaluation est dite multicritère, c'est-à-dire qu'elle englobe plusieurs catégories d'impact, dont l'un bien connu est le réchauffement climatique.

Aujourd'hui, on constate qu'il manque des données disponibles tout au long de la chaîne d'approvisionnement et qu'il existe des lacunes méthodologiques, notamment pour les produits agricoles et alimentaires. Or, il existe une forte demande dans ce secteur, tant en termes d'études à réaliser que de méthodologie à établir. Le Comité opérationnel 23 du Grenelle (COMOP23) a alors proposé que l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) anime une plate-forme méthodologique arbitrée par l'AFNOR (Association Française de Normalisation) pour mettre en place des méthodologies au niveau agricole. Actuellement, deux groupes de travail ont été constitués pour se pencher sur le cas des fruits et légumes : l'un pour l'amont (la production) et l'autre pour l'aval (la distribution).

Les agrumes sont largement consommés en France et représentent des flux et des enjeux commerciaux considérables, notamment au niveau du bassin méditerranéen pour les produits frais non transformés. Les systèmes de production d'agrumes sont très étudiés sur le plan agronomique au niveau mondial et notamment au sein de l'unité de recherche Hortsys du CIRAD. Dans ce contexte, le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) a été choisi, dans le cadre du projet Agri-BALYSE, pour produire une étude ACV de référence sur les petits agrumes (clémentines) produits au Maroc et consommés en France.

Ce rapport présente de façon détaillée la démarche de réalisation d'une ACV agricole sur plante pérenne (verger de petits agrumes) et les résultats obtenus.

Etat des lieux des ACV en arboriculture fruitière

De manière générale, on dispose de peu d'études ACV très détaillées sur fruits, les plus détaillées étant sur la pomme en Nouvelle-Zélande (Mila i Canals et al., 2006 & Mila i Canals, 2003) et sur la pomme en Suisse (Mouron et al., 2006). Quelques rares papiers s'intéressent aux agrumes : soit pour les oranges espagnoles à la porte de la ferme (Sanjuán et al., 2005), soit pour les produits à base d'agrumes en Italie jusqu'à la porte de la distribution (Beccali et al., 2009). Enfin, une publication récente présente une première étape de l'ACV pour des oranges du Brésil destinées au jus d'orange concentré et congelé (Coltro et al., 2009). Il est intéressant de constater que la majorité de ces travaux s'appuie sur des enquêtes lourdes dans des exploitations agricoles réelles, ce qui peut s'expliquer par le manque de données statistiques suffisantes ou de références bibliographiques pour réaliser des ACV sur ces systèmes. Un autre aspect méthodologique intéressant concerne la très rare prise en compte de l'ensemble du cycle de vie des vergers. Seul Mouron et al. (2006) a inclus dans son analyse l'implantation du verger et les années non productives. Sa prise en compte de la variabilité du verger adulte est elle basée sur quatre années de suivi. Dans les autres études, une année culturale unique est généralement choisie et jugée « représentative ». Les « coûts » environnementaux associés aux premières années non productives ainsi qu'à la fin de vie du verger ne sont donc pas pris en compte, ni d'ailleurs l'incidence éventuelle de la grande variabilité de production des vergers au cours de leur vie.

1. Commanditaire de l'étude

Le CIRAD a été commandité par l'ADEME, dans le cadre du projet Agri-BALYSE, pour réaliser une ACV de référence sur les petits agrumes. L'unité de recherche Hortsys, représentée par Mme. Claudine BASSET-MENS, est en charge de cette étude. La réalisation de cette ACV a été confiée au bureau d'études Envilys, représenté par M. Hadrien HEITZ.

2. Définition des objectifs et champ d'étude

L'objectif principal de l'étude est de réaliser une Analyse du Cycle de Vie de référence sur les petits agrumes produits au Maroc et consommés en France. Pour atteindre cet objectif, une méthodologie sera développée pour réaliser une ACV sur plante pérenne.

L'objectif général de l'étude peut se décliner en de multiples aspects :

- Identifier un ou plusieurs système(s) de production agricole de petits agrumes, considérés comme majoritaire(s) au Maroc
- Evaluer les impacts environnementaux depuis le stade de production agricole jusqu'à la livraison des fruits à la plateforme de distribution française, représentée par le marché St Charles (Perpignan)
- Prendre en compte toute la durée de vie du verger
- Développer cette ACV sous le logiciel Simapro

2.1. Identification des systèmes étudiés

L'objectif de cette première phase de l'étude est d'identifier, si possible, un ou plusieurs systèmes de production de petits agrumes au Maroc exportant leurs fruits vers la France. Des statistiques publiques ont donc été analysées afin d'en dégager de grandes tendances.

- **Exportations de petits agrumes vers la France selon les régions de production marocaines :**

L'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordinations des Exportations (EACCE) fournit des valeurs de tonnage d'exportations de petits agrumes marocains vers la France.

Pour la campagne 2009-10, voici les exportations réalisées en fonction de la région de production (Figures 1, 2, 3 et 4) :

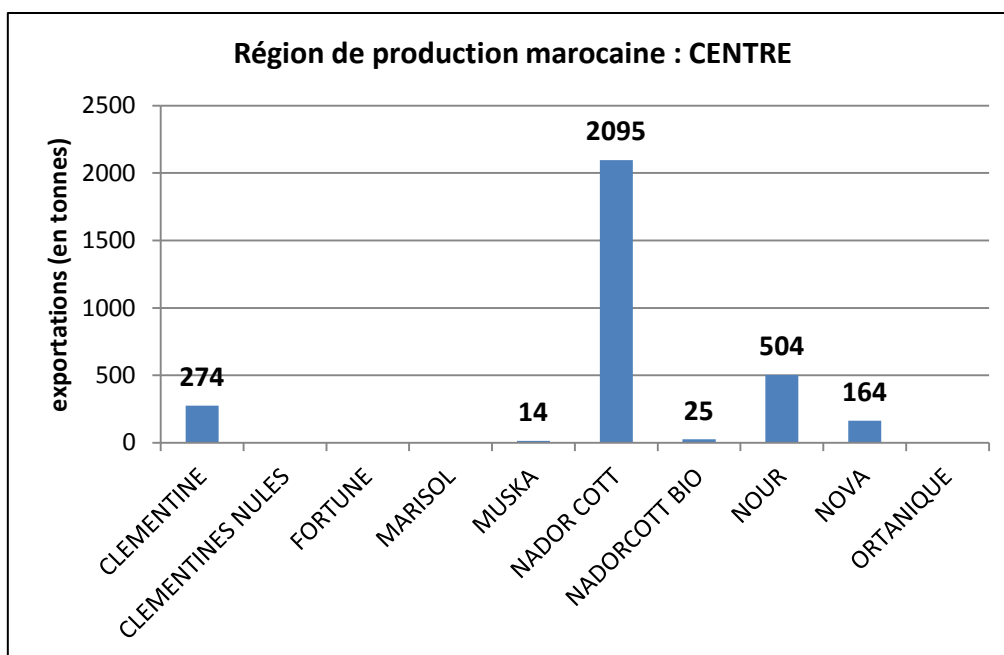


Figure 1 – Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région Centre du Maroc

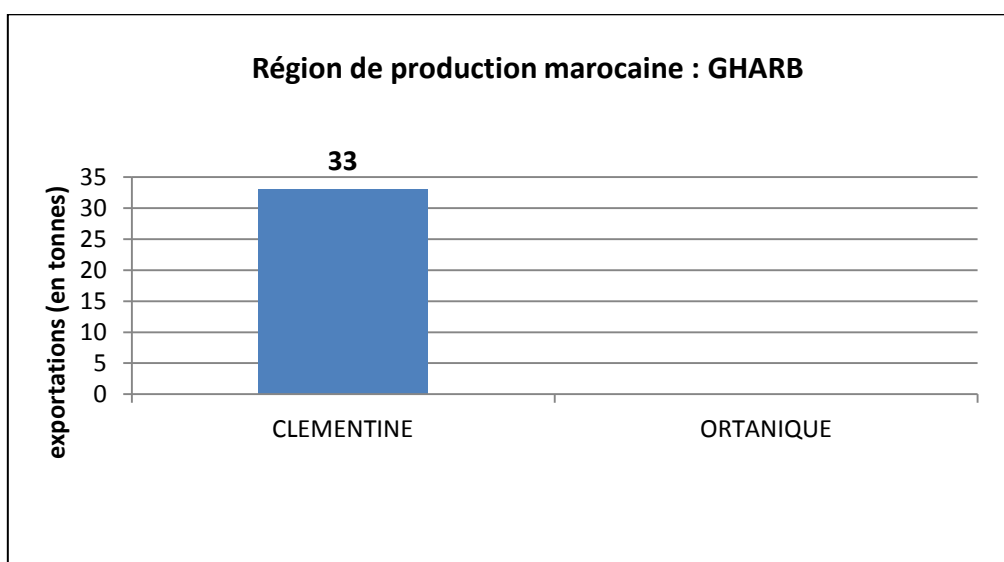


Figure 2 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région du Gharb

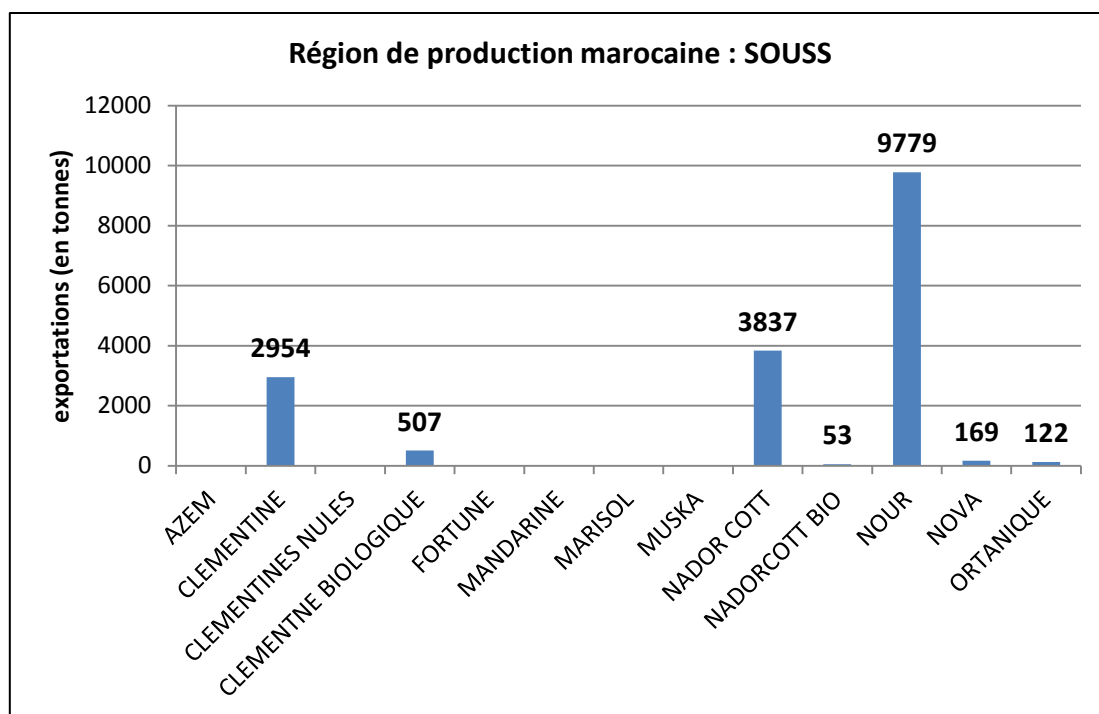


Figure 3 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région du Souss

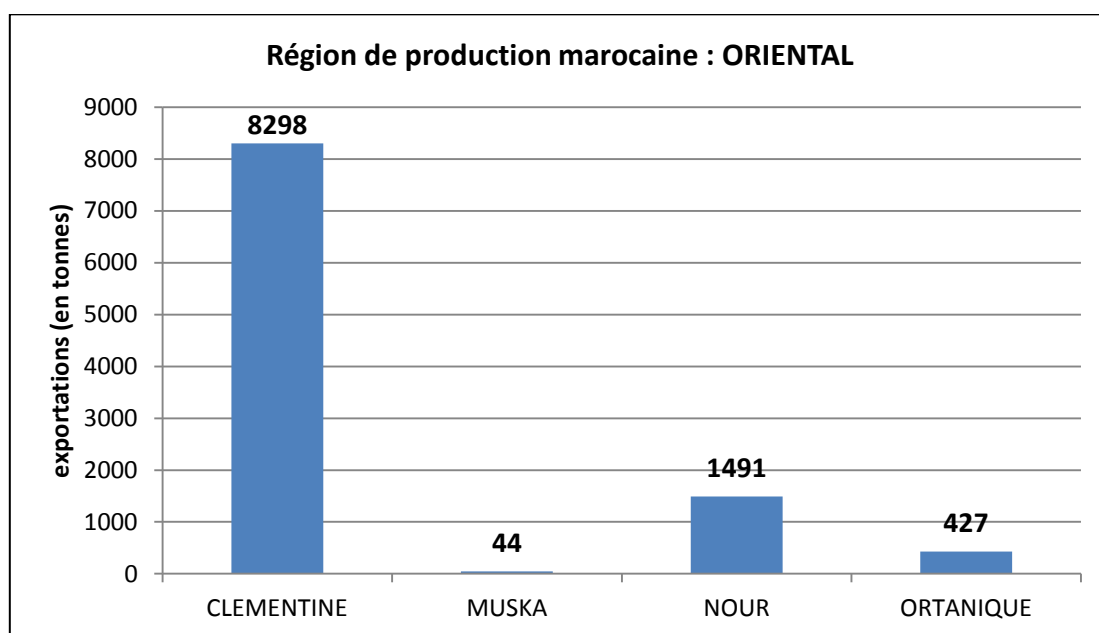


Figure 4 - Exportations 2009-10 vers la France de petits agrumes produits dans la région de l'Oriental

Une tendance se dégage : deux régions de production contribuent majoritairement aux exportations de petits agrumes vers la France, il s'agit du Souss et de l'Oriental. Le Souss représente 55,6 % des exportations totales de petits agrumes vers la France en 2009-10 et l'Oriental 32,8 %. Ces deux régions représentent donc, à elles seules, 88,4 % des exportations marocaines vers la France.

Sur la base de la campagne 2009-10, deux régions de production semblent donc se détacher en termes d'export vers la France : la région du Souss et la région de l'Oriental.

▪ **Les variétés de petits agrumes produites par région :**

Les graphiques d'exportations présentés précédemment font ressortir majoritairement trois catégories de petits agrumes : les clémentines au sens général, la clémentine Nour et la clémentine Nadorcott.

Dans le Souss, la clémentine Nour est la variété la plus exportée vers la France (Figure 3). La clémentine Nadorcott (ou Afourer) est la 2^{ème} variété du Souss la plus exportée vers la France. Elle a été historiquement implantée dans la région Centre par les Domaines Agricoles. La Nadorcott est vendue plus tardivement sur le marché que la Nour. Par la suite, on choisira la variété Nour pour représenter la région du Souss.

Dans la région de l'Oriental, la variété la plus exportée vers la France est la clémentine au sens général (Figure 4). Par la suite, on choisira la variété Cadoux pour représenter la région de l'Oriental.

Si l'on étudie plus en détails les quantités de clémentines exportées vers la France, dont l'origine est le Souss et l'Oriental (EACCE), voici ce que l'on obtient :

Tableau 1 – Evolution des exportations vers la France de clémentines produites dans le Souss et l'Oriental

Region	Variété	quantités en tonnes				
		2009/10	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06
SOUSS	CLEMENTINE NATURELLE	838	581	584	207	1656
SOUSS	CLEMENTINES DEVERDIS	2116	665	799	2185	1516
ORIENTAL	CLEMENTINE NATURELLE	4773	5006	5344	3650	6438
ORIENTAL	CLEMENTINES DEVERDIS	3525	1597	2648	1587	3500
SOUSS	NOUR	9779	6195	5764	5634	6869
ORIENTAL	NOUR	1491	765	747	1308	1187
A : TOTAL		22522	14809	15886	14571	21166
B : tot petits agrumes exportés (t)		31309	20330	20757	17327	26158
A/B (en %)		71,9	72,8	76,5	84,1	80,9

On constate que les clémentines (naturelles et déverdiées) et la Nour produites dans le Souss et dans l'Oriental représentent 71,9 % des exportations totales de petits agrumes vers la France pour la campagne 2009-10. Ce pourcentage était encore plus élevé par le passé, atteignant jusqu'à 84,1 % en 2006-07.

La majorité des clémentines marocaines consommées en France proviennent donc de la région du Souss et de la région de l'Oriental. L'Oriental produit majoritairement des clémentines traditionnelles comme la Cadoux et le Souss produit plutôt de la Nour. La clémentine Cadoux et la clémentine Nour seront donc les deux variétés retenues pour cette étude.

▪ **Systèmes d'irrigation au Maroc :**

Le Recensement Général des Agrumes de 2006 nous indique les différents systèmes d'irrigation utilisés par région de production d'agrumes (Figure 5).

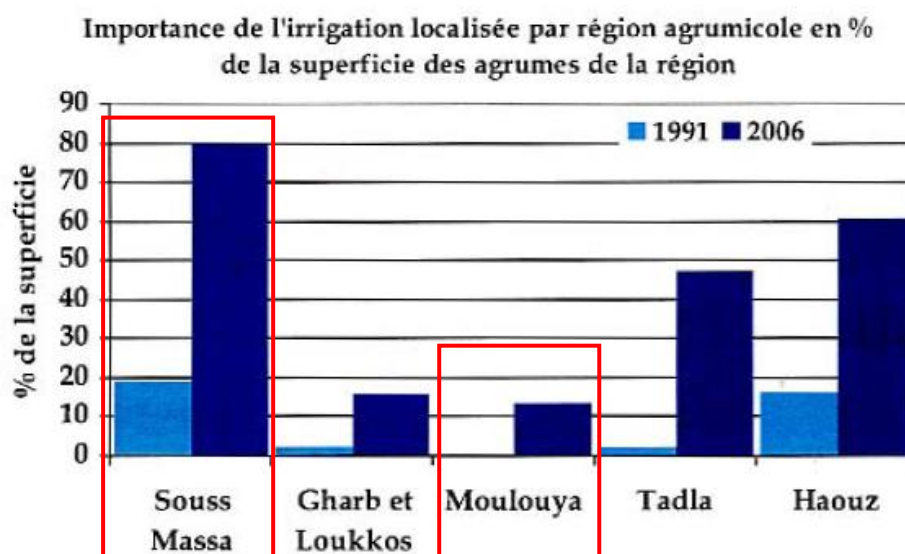


Figure 5 - Systèmes d'irrigation au Maroc en % de la superficie d'agrumes de chaque région

On constate que le Souss utilise en grande majorité (80%) le goutte-à-goutte pour irriguer les vergers d'agrumes tandis que dans l'Oriental (Moulouya), les producteurs utilisent plutôt le gravitaire (87%).

On note cependant que toutes les régions du Maroc, y compris l'Oriental, ont tendance à s'équiper en système de goutte-à-goutte afin de réduire l'utilisation de l'eau qui fait défaut au Maroc. Cet élan a été propulsé par une politique de soutien financier aux producteurs agricoles souhaitant s'équiper en goutte-à-goutte.

Chacune des deux régions identifiées semblent donc utiliser majoritairement un type d'irrigation : le Souss est équipé en goutte-à-goutte et l'Oriental irrigue ses vergers en gravitaire.

■ **Autres aspects relatifs aux deux variétés choisies :**

	Référence	Souss	Oriental
Plants			
Variété		Clémentine NOUR	Clémentine CADOUX
Période de commercialisation	SODEA	Tardive	De saison
Porte-greffe	RGA (2006)	Bigaradier (87,7%)	Bigaradier (99%)
Superficie			
Superficie variété par région (A)		4 073 ha	7 132 ha
Superficie variété au Maroc (B)	RGA (2006)	5 678 ha	7 565 ha
A/B (en %)		71,7%	94,3%
Superficie nationale toutes variétés confondues (C)		34 141 ha pour 2005/06	
A/C (en %)	RGA (2006)	11,9%	20,9%
Production			
Quantité exportée vers la France en 2009/10 (A)		9 779 tonnes	8 298 tonnes
Total petits agrumes exportés en France pour 2009/10 (B)	EACCE	31 309 tonnes toutes variétés et régions confondues	
A/B (en %)	EACCE	31,2%	26,5%
Eau			
Irrigation (pour 2005/06)	RGA (2006)	80% goutte-à-goutte	87% gravitaire
Pluviométrie moyenne (mm)	wikipedia http://iboudi.free.fr/climatologie.htm	250 mm (Agadir)	350 mm (Berkane et Nador)
Hydraulique - superficie équipée par région	Ministère de l'agriculture du Maroc, Plan Maroc Vert	*Grande hydraulique = 58 850 ha *Petite et moyenne hydraulique = 88 355 ha *Irrigation privée (eaux souterraines) = 48 500 ha	*Grande hydraulique = 65 400 ha *Petite et moyenne hydraulique = 41 934 ha *Irrigation privée (eaux souterraines) = 8 060 ha
Caractéristiques vergers			
Age des vergers	RGA (2006)	* Les vergers sont actuellement en pleine production, de tous âges * Pour 2005/06 : 0-5 ans (32,2%) ; 5-10 ans (16,7%) ; 10-25 ans (46,1%) ; >25 ans (5%)	* Les vergers sont actuellement âgés * Pour 2005/06 : 0-5 ans (15,2%) ; 5-10 ans (9,6%) ; 10-25 ans (13,9%) ; >25 ans (61,2%)
Durée de vie	Expertise	Moyenne : 25-30 ans	Longue : jusqu'à 45-50 ans
Rendement	SODEA	Alternance de la production	
Densité moyenne nationale par variété	RGA (2006) RGA (2006) Bibliographie sur la clémentine de Berkane	En moyenne 28 t/ha 523 arbres/ha : * (6x3) soit 555 arbres/ha * (5x4) soit 500 arbres/ha	24 t/ha 270 arbres/ha
Montée en puissance des rendements (phase juvénile)	Expertise	Au vu de la densité, la Nour arrive vite à son plateau en terme de rendement (vers 9 ans) La Cadoux produit moins les premières années et arrive un peu plus tard à son plateau de rendement (vers 12 ans)	
Taille moyenne des exploitations	RGA (2006)	9,2 ha/verger	3,3 ha/verger

RGA (2006) : Recensement Général des Agrumes 2006 (Maroc)

SODEA : Société de Développement Agricole (Maroc)

EACCE : Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordinations des Exportations

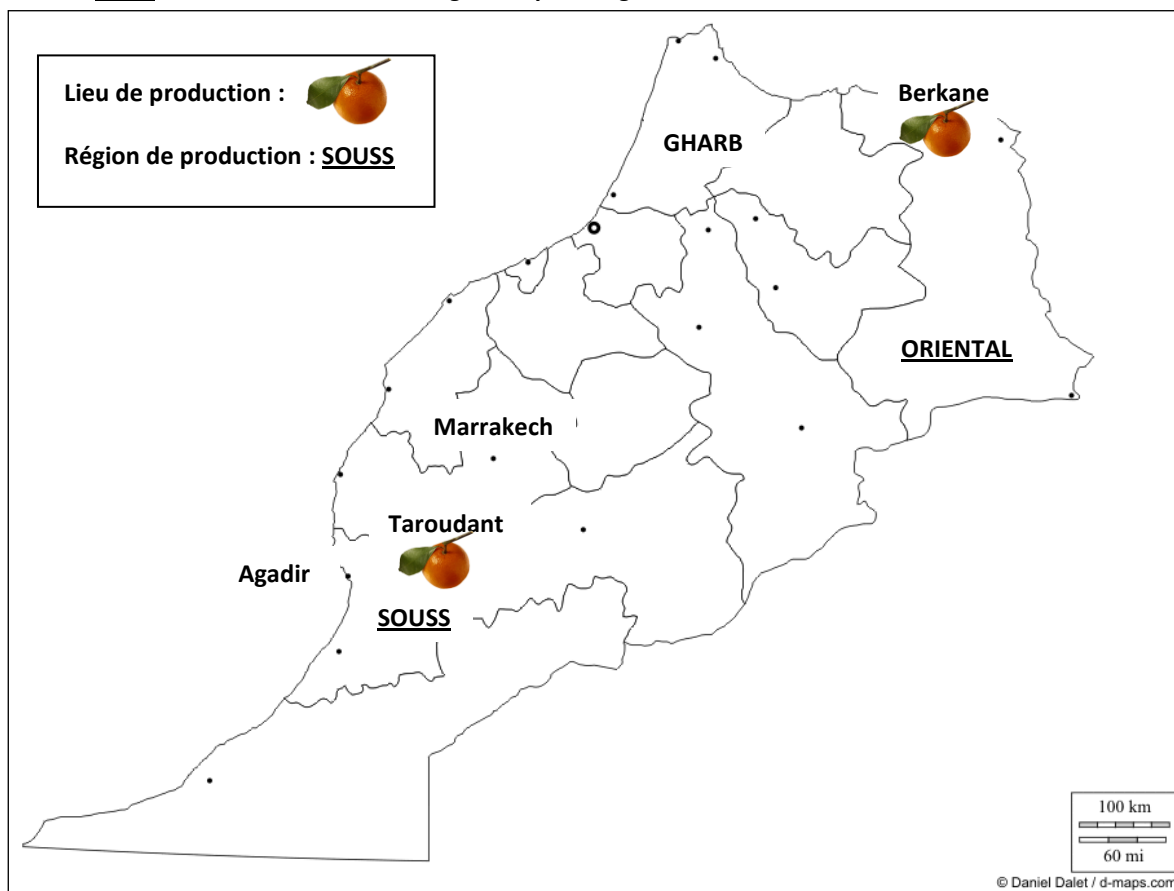
Synthèse :

Cette analyse bibliographique a permis de dégager deux systèmes de production de petits agrumes au Maroc :

- Un système de production traditionnelle dans la région de l'Oriental : culture de la clémentine Cadoux de saison irriguée en gravitaire = verger OC
- Un système de production moderne dans la région du Souss : culture de la clémentine Nour tardive irriguée en goutte-à-goutte = verger SN

Le verger OC est localisé dans la province de Berkane et le verger SN correspond à la province de Taroudant (cf. Carte).

Carte : Localisation des deux vergers de petits agrumes retenus dans le cadre de cette étude



Ces deux systèmes de production ont des pratiques culturelles différentes, résultant en partie de leur mode d'irrigation. La conduite technique de ces deux vergers sera présentée par la suite lors de l'inventaire du cycle de vie (partie 4).

2.2. L'unité fonctionnelle

Description

La fonction du système est de produire et de mettre à disposition du marché français des petits agrumes marocains. L'unité fonctionnelle choisie est 1 kg de petits agrumes marocains livrés à la porte du marché Saint Charles de Perpignan.

On choisit plus exactement : 1 kg de clémentine Nour pour la région du Souss (système SN) et 1 kg de clémentine Cadoux pour la région de l'Oriental (système OC).

Pertes de clémentines au cours de la chaîne d'approvisionnement

Le taux moyen de fruits rejetés à la station de conditionnement est de 10 % de la quantité totale reçue (données de terrain). On considère que 60 % des fruits arrivant à la station de conditionnement sont destinés à l'export, tandis que les 30 % restants (écarts de triage) sont destinés au marché local.

2.3. Les frontières du système

Description

Pour cette étude, les frontières du système s'étendent de l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des déchets sur toute la chaîne d'approvisionnement des clémentines marocaines.

Certains entrants de la chaîne d'approvisionnement ont été omis de l'analyse faute de données fiables accessibles :

- *Pépinière* : transport des plants depuis la pépinière jusqu'au lieu d'implantation du verger ; la construction et l'entretien des serres ; production de graines.
- *Verger* : la construction et l'entretien des bâtiments d'exploitation ; les outils manuels et autres équipements ; la production de déchets et leurs traitements.
- *Station de conditionnement* : la fabrication et l'entretien des machines le long de la chaîne de conditionnement ; la construction et l'entretien des infrastructures ; les caisses de récolte ; les adhésifs ; les étiquettes ; le transport des déchets de fruits jusqu'à leur centre de traitement.
- *Transport* : les pertes de fruits au cours du transport vers la France ; la perte de poids par transpiration des fruits au cours du transport ; les opérations logistiques sur les ports (chargement/déchargement, etc)

En ce qui concerne les frontières temporelles, la vie entière des deux vergers (SN et OC) a été modélisée : depuis la production des plants au sein de la pépinière jusqu'à la fin de vie du verger. Cependant, l'arrachage du verger n'a pas été pris en compte dans cette étude.

Aspects méthodologiques

La pérennité des productions arboricoles pose un problème particulier en ce qui concerne l'accès aux données et la représentativité temporelle et technologique du système étudié. En effet, un verger âgé présente l'intérêt, si les données sont disponibles, de montrer l'image agronomique effective d'une histoire technique mais il est aussi le résultat de toute l'évolution technologique depuis son implantation jusqu'à son démantèlement. Par contre, un verger récent représente les techniques d'implantation et de production récentes mais le résultat de ces options technologiques n'est pas encore connu sur toute la durée de sa vie et vont, elles-mêmes, connaître des évolutions au cours du temps.

Ce problème se poserait si l'étude s'appuyait sur des données réelles provenant d'enquêtes de terrain et pour des vergers d'âges différents. Or ce n'est pas le cas ici. Pour cette étude, une représentativité technologique actuelle a été choisie afin de décrire les systèmes de production agricole. C'est-à-dire que les techniques de culture actuelles ont été transposées à chaque année de vie du verger considéré. Par exemple, pour le verger SN (Souss), on considère que l'on a pratiqué de la fertirrigation (technique moderne) tout au long de la vie de ce verger.

2.4. Qualité des données

L'inventaire du cycle de vie demande une exhaustivité toute particulière des données. C'est pourquoi cette étude se base à la fois sur des statistiques publiques, de la bibliographie, de l'expertise et deux enquêtes de terrain (dans le Tadla et dans le Souss) qui ont permis de comprendre les pratiques et de mettre en place une méthodologie pour réaliser une ACV en arboriculture fruitière.

2.5. Règles d'allocation

Il a été vu précédemment que les fruits avaient plusieurs destinations : l'export ou le marché local. Le produit étudié est celui destiné à l'export, ainsi les clémentines vendues sur le marché local sont considérées comme des coproduits de la chaîne d'approvisionnement.

Ces coproduits génèrent également des émissions vers l'environnement. L'allocation permet alors d'intégrer ces émissions uniquement aux coproduits et pas au produit étudié.

Une allocation économique, basée sur une enquête de terrain, a été mise en place pour ces coproduits (Annexe 1). D'après des données économiques d'un verger du Tadla, les clémentines d'export ont été considérées comme trois fois plus chères que celles vendues sur le marché local (moyenne sur 4 ans).

2.6. Méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie

2.6.1. Les catégories d'impact étudiées

Les catégories d'impact retenues dans ce rapport sont les suivantes : épuisement des ressources naturelles, acidification, eutrophisation, réchauffement climatique, toxicité humaine, écotoxicité aquatique des eaux douces et écotoxicité terrestre. On étudiera également l'eau et l'énergie consommées au cours du cycle de vie des petits agrumes.

L'épuisement des ressources naturelles non renouvelables comprend les combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) et les minéraux (métaux : Fer, Aluminium, Or, ... ; et non métaux : Silice, Diamant, Uranium, ...). L'acidification des milieux, mesurée par le pH, est principalement liée aux retombées de trois types de polluants : le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azotes (NO_x) et l'ammoniac (NH₃). Les principales substances responsables de l'eutrophisation sont l'azote sous forme de nitrates, le phosphore sous forme de phosphates et l'ammoniac. Le réchauffement climatique est dû aux gaz à effet serre : le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Enfin, la toxicité et l'écotoxicité représentent l'impact des molécules et substances chimiques sur l'homme et les écosystèmes.

2.6.2. Méthodes de caractérisation

Il existe différentes méthodes de caractérisation sous Simapro. Celles-ci diffèrent dans la quantité de molécules ou substances répertoriées mais aussi dans les modèles de caractérisation employés pour calculer les facteurs d'équivalence des molécules pour une catégorie d'impact donnée. Par exemple, certaines matières actives de pesticides sont caractérisées dans une méthode mais pas dans les autres.

La méthode choisie est CML 2000. On utilise également IMPACT 2002+ pour calculer la demande énergétique au cours du cycle de vie.

3. Cycle de Vie des petits agrumes

Les petits agrumes sont soit voués à l'export si leur qualité le permet, soit distribués sur le marché local. Pour cette étude, les vergers cherchent avant tout à exporter leurs fruits. Pour un verger en pleine production, on considère que 60 % de la production sera exportée, 30 % ira sur le marché local (notamment suite aux écarts de triage à la station de conditionnement) et 10 % sera perdue (fruits pourris, écrasement, etc) sur la base d'une enquête de terrain réalisée dans un verger commercial du Tadla (Heitz, 2010).

Les 10 % de pertes représentent essentiellement les fruits rejetés à la station de conditionnement ainsi que les pertes lors du transport entre le verger et la station. Il faudra donc 1,1 kg de clémentines issues du verger pour obtenir 1 kg à la porte du marché Saint Charles de Perpignan.

Le cycle de vie des petits agrumes est représenté sur la Figure 6. Les plants qui constitueront le verger sont élevés en pépinière. Au bout de trois années en moyenne après la plantation, les arbres donnent des fruits. Les clémentines du verger sont alors récoltées puis transportées jusqu'à la station de conditionnement. Les fruits arrivant à la station sont éventuellement stockés en chambre froide (2 mois max.), puis ils suivent un ensemble d'étapes les préparant à l'export. Une fois conditionnés, les fruits sont acheminés vers un port marocain pour être emmenés jusqu'en France par bateau. Enfin, les clémentines sont transportées par camion jusqu'au marché Saint Charles.

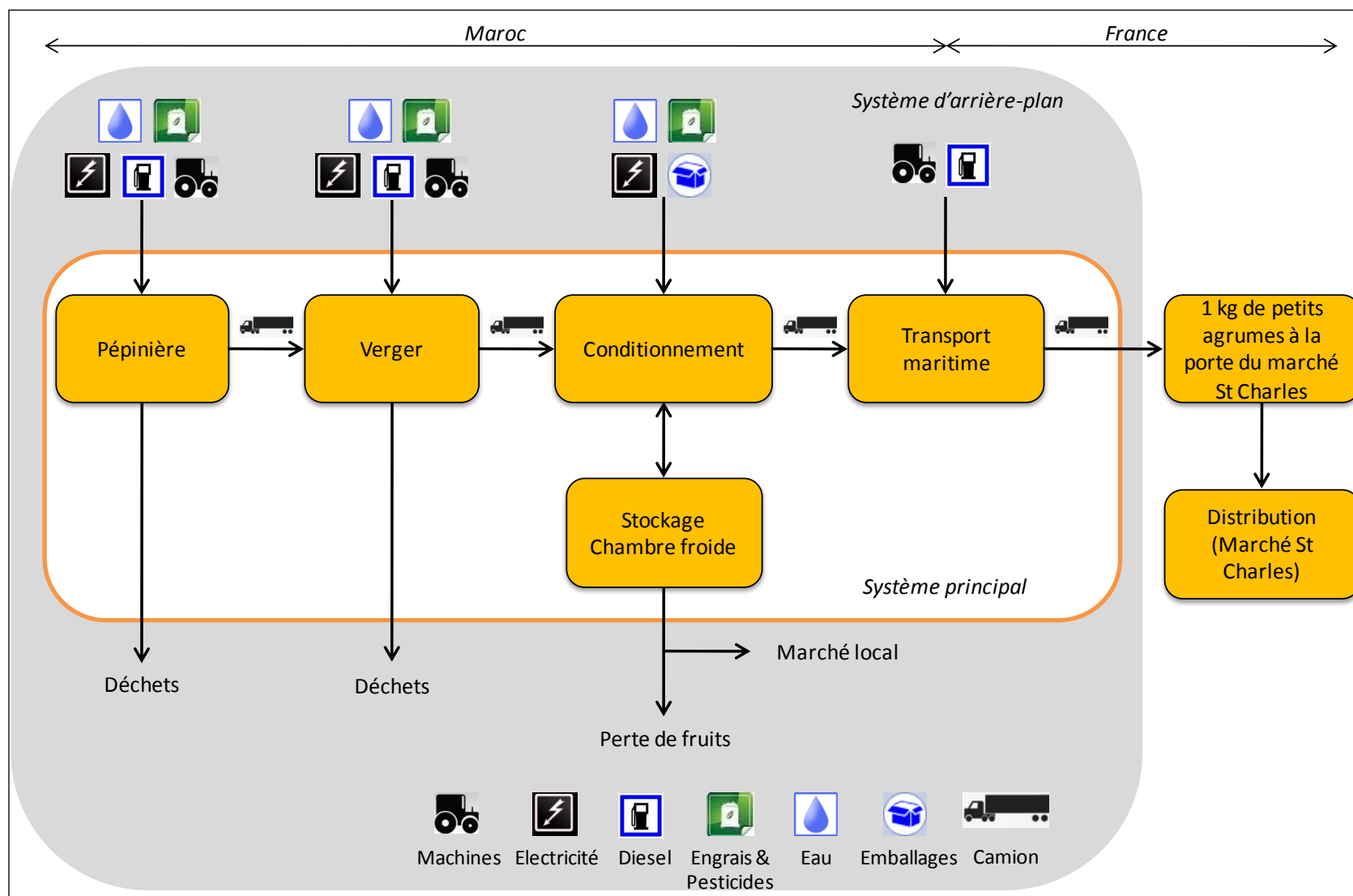


Figure 6 - Cycle de Vie générique des petits agrumes produits au Maroc et consommés en France

4. Etapes du Cycle de Vie des petits agrumes : Production sur le verger

Les itinéraires techniques des deux vergers sont encore en cours de validation auprès d'experts marocains, à savoir auprès de M. El Bachir Nadori, M. Mohamed El-Otmani (IAV - Complexe Horticole d'Agadir), M. Ikbal Srairi (Domaines Kabbage) et M. Abdelatif Taraf (EACCE). Cependant, le verger SN (Souss) s'appuie tout de même sur une enquête de terrain réalisée dans le Souss, près d'Oulad Teima (Heitz, 2010).

Pour chacune des parties ci-dessous, on détaillera les éléments pris en compte pour le verger SN et le verger OC. Chaque élément est exprimé pour un hectare de culture de petits agrumes.

4.1. Description sommaire des vergers

Verger SN (Souss)

Le verger est situé dans la région du Souss, dans la province de Taroudant. La variété cultivée est la clémentine Nour greffée sur Bigaradier. La densité de plantation est de 500 arbres/ha, soit environ un espacement de 5m*4m. La durée de vie du verger est estimée à 25 ans car les variétés cultivées dans le Souss sont renouvelées assez souvent en fonction des tendances du marché et des rendements. On peut également noter que la Nour est une variété tardive et qu'elle a une tendance à la forte alternance des rendements d'une année sur l'autre (ce point n'est pas modélisé dans cette ACV). A l'âge de la pleine production, le rendement du verger SN est de 28 tonnes/ha (RGA, 2006).

Verger OC (Oriental)

Le verger est situé dans la région de l'Oriental, dans la province de Berkane. La variété cultivée est la clémentine Cadoux greffée sur Bigaradier. La densité de plantation est de 270 arbres/ha, soit environ un espacement de 6m*6m. La durée de vie du verger est estimée à 40 ans. On peut également noter que la Cadoux est une variété dite de saison. L'alternance des rendements d'une année sur l'autre est moins importante que pour la Nour mais elle existe tout de même (ce point n'est pas modélisé dans cette ACV). A l'âge de la pleine production, le rendement du verger OC est de 24 tonnes/ha (RGA, 2006).

4.2. Les opérations culturales – carburant consommé

Description

L'énergie directement consommée comprend le diesel et l'électricité. L'ensemble des machines agricoles réalisant des opérations sur le verger fonctionnent au diesel, tandis que les pompes utilisées pour l'irrigation sont électriques. On détaillera plus particulièrement l'énergie consommée par les pompes dans la partie suivante (4.3.2).

L'énergie consommée a été calculée à partir de la quantité de diesel (en kg) et du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) qui représente l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction. Le PCI du diesel est de 44,8 MJ/kg (wikipedia).

Verger SN (Souss)

Le Tableau 2 présente les opérations mécanisées réalisées sur le verger au cours d'une année de pleine production. Certaines de ces opérations n'ont pas lieu tous les ans. Les années d'utilisation seront détaillées par la suite dans la partie sur les machines (4.9 ; Annexe 8).

Tableau 2 - Consommation de diesel et d'énergie par les opérations mécanisées sur le verger SN au cours d'une année de production (région du Souss)

OPERATIONS CULTURALES	PARC MATERIEL	CONSOMMATION CARBURANT (L/h)	DUREE INTERVENTION (h/ha)	NOMBRE D'UTILISATION	QTE DE DIESEL (kg/ha/an)	ENERGIE CONSOMMEE (MJ/ha/an)
FERTILISATION						
Application foliaire de fertilisants	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	3	10,1	451,6
TRAITEMENTS PESTICIDES et REGULATEURS DE CROISSANCE						
Traitement mineuse	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	3	10,1	451,6
Traitement cératite	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	2	6,7	301,1
Traitement pou de Californie	Tracteur (65 CV) + Pulvérisateur à lances	7	5	0,33	9,7	434,6
Désherbage chimique	Tracteur (65 CV) + Pulvérisateur à lances	4	2	2	13,4	602,1
Application de régulateur de croissance	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	2	6,7	301,1
TRAVAIL DU SOL						
Désherbage mécanique	Tracteur (65 CV) + Gyrobroyeur	4	0,5	2	3,4	150,5
Sous-solage (80 cm)	Tracteur (80 CV) + Sous-soleur	13	0,5	1	5,5	244,6
RECOLTE						
Récolte	Tracteur (65 CV) + Remorque	4	9	1	30,2	1354,8
TAILLE ET BROUAGE DU BOIS DE TAILLE						
Broilage du bois de taille en inter-rang	Tracteur (65 CV) + Broyeur	8	2	1	13,4	602,1
TOTAL			23	17,33	109,2	4894,0

Verger OC (Oriental)

Le Tableau 3 présente les opérations mécanisées réalisées sur le verger au cours d'une année de pleine production. Certaines de ces opérations n'ont pas lieu tous les ans. Les années d'utilisation seront détaillées par la suite dans la partie sur les machines (4.9 ; Annexe 9).

Tableau 3 - Consommation de diesel et d'énergie par les opérations mécanisées sur le verger OC au cours d'une année de production (région de l'Oriental)

OPERATIONS CULTURALES	PARC MATERIEL	CONSOMMATION CARBURANT (L/h)	DUREE D'UNE INTERVENTION (h/ha)	NOMBRE D'UTILISATION	QTE DE DIESEL (kg/ha/an)	ENERGIE CONSOMMEE (MJ/ha/an)
FERTILISATION						
Epandage de fertilisants (à partir de la 6ème année)	Tracteur (65 CV) + Epandeur	4	1	3	10,1	451,6
TRAITEMENTS PESTICIDES et REGULATEURS DE CROISSANCE						
Traitement mineuse	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	3	10,1	451,6
Traitement cératite	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	2	6,7	301,1
Traitement pou de Californie	Tracteur (65 CV) + Pulvérisateur à lances	7	5	0,33	9,7	434,6
Désherbage chimique	Tracteur (65 CV) + Pulvérisateur à lances	4	2	2	13,4	602,1
Application de régulateur de croissance	Tracteur (65 CV) + Atomiseur	4	1	2	6,7	301,1
TRAVAIL DU SOL						
Désherbage mécanique	Tracteur (65 CV) + Cover-crop	6	1	2	10,1	451,6
Création de billons (irrigation)	Tracteur (65 CV) + Charrue billonneuse	6	2	4	40,3	1806,3
RECOLTE						
Récolte	Tracteur (65 CV) + Remorque	4	7,7	1	25,9	1159,1
TAILLE ET BROUAGE DU BOIS DE TAILLE						
Broilage du bois de taille en inter-rang	Tracteur (65 CV) + Broyeur	8	2	1	13,4	602,1
TOTAL			23,7	20,33	146,5	6561,1

Données

Les valeurs de consommation de carburant proviennent de la littérature (PNTTA n°145 ; SODEA, 2005) à l'exception du broyage du bois de taille qui fait l'objet d'une hypothèse. Les durées de chaque intervention proviennent de la littérature (SODEA, 2005 ; Praloran, 1971). Le nombre d'utilisation(s) ou de passage(s) par an provient soit d'une enquête dans un verger commercial de la région du Tadla soit d'hypothèses à valider.

Les références de chaque valeur sont détaillées dans les tableurs excel d'Inventaire du Cycle de Vie (ICV_Souss.xlsx et ICV_Oriental.xlsx).

Les itinéraires techniques, quant à eux, résultent d'une enquête de terrain dans un verger de petits agrumes de la région du Tadla (Heitz, 2010), de la littérature (Loussert, 1989 ; Soler Aznar et al., 2006) et d'une validation encore en cours auprès d'experts en agrumiculture, à savoir M. Henri Vannière (CIRAD), M. El Bachir Nadori, M. Mohamed El-Otmani (IAV - Complexe Horticole d'Agadir), M. Ikbâl Sraïri (Domaines Kabbage) et M. Abdelatif Taraf (EACCE).

4.3. Irrigation : eau et énergie

Les vergers d'agrumes ont physiologiquement besoin de beaucoup d'eau pour leur croissance et pour la production de fruits. Les besoins théoriques en eau d'une plantation adulte d'un hectare d'agrumes sont estimés à 1 200 mm, soit 12 000 m³/ha (Loussert, 1989).

Dans les conditions méditerranéennes, et notamment au Maroc, l'évapotranspiration est très nettement supérieure à la pluviométrie. Pour obtenir de grandes quantités d'eau, les producteurs d'agrumes marocains utilisent soit l'eau en provenance de grands barrages, soit l'eau des oueds, soit l'eau des nappes phréatiques (forages).

Au Maroc, il existe deux types d'irrigation majoritaires en agrumiculture : l'irrigation gravitaire et l'irrigation localisée en goutte-à-goutte. Le verger OC et le verger SN utilisent respectivement ces deux types d'irrigation.

4.3.1. Estimation des besoins en eau d'irrigation

Description

Pour estimer les besoins en eau d'irrigation des vergers étudiés, on utilise un bilan hydrique simplifié de façon annuelle :

$$Irrigation [mm] = ETM [mm] - Pluviométrie [mm]$$

Avec :

- Irrigation : quantité d'eau d'irrigation utilisée annuellement sur le verger
- ETM : évapotranspiration maximale

$$ETM [mm] = ETP [mm] * Kc$$

Avec :

- Kc : coefficient cultural (Annexe 2)

D'après la formule de Blaney-Cridle, on peut estimer l'ETP :

$$ETP [mm] = 0,254 * (1,8 * T[°C] + 32) * p$$

Avec :

- T (°C): température moyenne mensuelle
- p : somme des heures du jour pendant la période considérée en centième de la somme des heures du jour de l'année entière ; p dépend de la latitude du lieu étudié (table FAO, Annexe 3)

Ainsi, pour estimer les besoins en eau des deux vergers, il est nécessaire d'avoir des valeurs de température et de pluviométrie pour les régions concernées. Les quantités d'eau d'irrigation sont présentées plus loin dans ce rapport (4.8).

Données

Les données climatiques (température et pluviométrie) utilisées pour le verger SN proviennent d'une station météorologique appartenant à un verger dans le Souss (Heitz, 2010). Les données représentent une moyenne sur 15 ans.

Les données climatiques (température et pluviométrie) utilisées pour le système OC sont des données publiques obtenues sur un portail météo du Maroc :

<http://fr.allmetsat.com/climat/maroc>

Les données représentent a priori une moyenne sur plusieurs années pour la station météo située à Oujda (à 60 km de Berkane).

4.3.2. Consommation énergétique

Verger SN (Souss)

Le système d'irrigation est localisé, en goutte-à-goutte, et il peut apporter de façon simultanée l'eau et les fertilisants (= fertirrigation). Le système se compose d'une pompe puissante puisant l'eau en profondeur, dans la nappe. Cette eau est alors acheminée vers un bassin de stockage d'une contenance de plusieurs milliers de m³. Ensuite, l'eau est traitée dans une station de fertigation afin de la filtrer et d'y ajouter les engrais nécessaires. Une pompe permet enfin amener l'eau à basse pression au pied des arbres via du goutte-à-goutte. Le matériel pris en compte dans l'étude est présenté dans la partie concernant les machines (4.9).

L'énergie prise en compte dans cette étude concerne deux pompes : l'une puisant l'eau dans la nappe (Pompe nappe) et l'autre l'acheminant jusqu'à la parcelle (Pompe parcelle).

Pompe puisant l'eau dans la nappe :

Le calcul de la demande énergétique est présenté ci-dessous (Gilles Belaud, com. pers.). La formule de calcul de la puissance hydraulique d'une pompe a été obtenue sur le site suivant :

http://www.thermexcel.com/french/ressourc/mot_pump.htm

$$Ph [W] = \rho [kg/m^3] * g[m/s^2] * Hm[mce] * Q[m^3/s]$$

Avec :

- Ph : Puissance hydraulique
- ρ : Masse volumique de l'eau (= 1 000 kg/m³)
- g : Accélération de la pesanteur (= 9,8 m/s²)
- Hm : Hauteur manométrique en mètres colonne d'eau (mce), où 1 bar = 10 mce
- Q : Débit des goutteurs

Le forage possède une profondeur de 150 m (hypothèse). Ainsi, la hauteur manométrique Hm vaut 150 mce auquel on ajoute 20 mce pour la mise sous pression. On considère que le débit de remplissage du bassin de stockage est de 20 L/s, soit 0,02 m³/s (Heitz, 2010).

$$Pr [W] = Ph [W] \div \eta$$

Avec :

- Pr : Puissance réellement nécessaire à la mise sous pression
- η : Rendement de la pompe (site internet KSB EasySelect)

Les caractéristiques de la pompe sont disponibles sur le site internet « KSB EasySelect » :

<http://www.ksb.com/ksb-en/KSB-EasySelect/>

Le rendement de la pompe est alors de 75 %.

$$Ef [kWh] = Pr [kW] * N [h]$$

Avec :

- Ef : Energie consommée par la pompe pour puiser l'eau dans la nappe via un forage
NB : 1 kWh = 3,6 MJ
- N : Durée de fonctionnement de la pompe

Le nombre d'heures de pompage est calculé à partir de la quantité d'eau d'irrigation annuelle que l'on rapporte au débit de remplissage du bassin.

La demande énergétique annuelle de la pompe nappe est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 4).

Tableau 4 - Demande énergétique annuelle (Ef) de la pompe puisant l'eau dans la nappe phréatique

	Pr (kW)	N (h/ha/an)	Ef (kWh)	Ef (MJ)
Année 1	44,427	100,2	4449,8	16019,1
Année 2	44,427	100,2	4449,8	16019,1
Année 3	44,427	100,2	4449,8	16019,1
Année 4	44,427	118,0	5242,2	18872,0
Année 5	44,427	118,0	5242,2	18872,0
Année 6	44,427	118,0	5242,2	18872,0
Année 7	44,427	118,0	5242,2	18872,0
Année 8	44,427	118,0	5242,2	18872,0
Année 9-25	44,427	118,0	5242,2	18872,0

Pompe acheminant l'eau à la parcelle :

Le calcul est le même que précédemment.

La pression dans les tuyaux d'irrigation goutte-à-goutte est faible, de l'ordre de 2 bars, soit une hauteur manométrique de 20 mce (Heitz, 2010).

Le débit de la pompe est de $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour calculer cette valeur, on pose les hypothèses suivantes : il y a 4 goutteurs par arbre et chaque goutteur a un débit de 4 L/h, et le verger a une densité de plantation de 500 arbres/ha.

Le rendement de la pompe est alors de 60 %.

La demande énergétique annuelle de la pompe parcelle est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 5).

Tableau 5 - Demande énergétique annuelle (Ep) de la pompe alimentant la parcelle

	Pr (kW)	N (h/ha/an)	Ep (kWh)	Ep (MJ)
Année 1	0,726	901,4	654,4	2355,8
Année 2	0,726	901,4	654,4	2355,8
Année 3	0,726	901,4	654,4	2355,8
Année 4	0,726	1062,0	770,9	2775,3
Année 5	0,726	1062,0	770,9	2775,3
Année 6	0,726	1062,0	770,9	2775,3
Année 7	0,726	1062,0	770,9	2775,3
Année 8	0,726	1062,0	770,9	2775,3
Année 9-25	0,726	1062,0	770,9	2775,3

Verger OC (Oriental)

Le système d'irrigation est gravitaire, c'est l'irrigation traditionnelle dite « de surface » qui consiste, après un aménagement soigneux du sol sous forme de billons (petites buttes), à répartir l'eau dans des cuvettes confectionnées au pied des arbres.

L'eau provient généralement de grands barrages qui réalisent des « lâchés » réguliers qui alimentent les parcelles en acheminant l'eau sur des kilomètres via un réseau de cuvettes demi-circulaires ouvertes à l'air libre.

Faute de données précises disponibles sur le matériel, les matériaux et l'énergie consommée, on utilisera une donnée de la littérature. D'après Avraamides et Fatta (2006) faisant référence à Manoli (2006), l'énergie consommée par le barrage est de $1,77 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg}$ d'eau fournie.

La demande énergétique annuelle du barrage pour acheminer la quantité d'eau nécessaire au verger est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 6).

Tableau 6 - Demande énergétique annuelle (E) du barrage pour l'alimentation en eau du verger

	Egrav (kWh/kg d'eau)	Irrig (m3/ha)	Irrig (kg/ha)	E (kWh/ha)	E (MJ/ha)
Année 1	0,00177	4900,3	4 900 297,3	8 673,5	31 224,7
Année 2	0,00177	4900,3	4 900 297,3	8 673,5	31 224,7
Année 3	0,00177	4900,3	4 900 297,3	8 673,5	31 224,7
Année 4	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 5	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 6	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 7	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 8	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 9	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 10	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Année 11	0,00177	6032,8	6 032 850,0	10 678,1	38 441,3
Années 12-40	0,00177	7311,4	7 311 442,1	12 941,3	46 588,5

4.4. Fertilisation : production et utilisation de fertilisants

Description

Les éléments minéraux fondamentaux de la nutrition des agrumes sont : l'azote (N), la potasse (K_2O) et le phosphore (P_2O_5). Ils font l'objet d'apports réguliers sur le verger. D'autres éléments non négligeables sont mobilisés en plus faible quantité, il s'agit des oligoéléments tels que le zinc (Zn), le manganèse (Mn) et le Fer (Fe).

Le transport des fertilisants depuis leur lieu de fabrication jusqu'au lieu d'utilisation est détaillé en annexe (Annexe 7).

Verger SN (Souss)

La majorité de la fumure est apportée par fertirrigation, c'est-à-dire que les fertilisants, solubles dans l'eau, sont mélangés à l'eau d'irrigation en une certaine proportion ; l'arbre reçoit en même temps l'eau et les engrais. La fumure par fertigation est complétée par des pulvérisations foliaires d'engrais (comme le nitrate de potasse) couplé à des oligoéléments (comme le zinc ou le manganèse). Ces apports foliaires permettent de corriger des carences minérales détectées par l'analyse chimique des feuilles. Ces apports sont donc dépendants des résultats des analyses foliaires effectuées chaque année. Pour cette étude, trois applications foliaires annuelles sont comptabilisées à partir de la 4^{ème} année (d'après l'expertise de M. Henri Vannière et d'une enquête de terrain réalisée dans un verger commercial du Tadla : Heitz, 2010).

Les fertilisants utilisées en fertirrigation sont : l'Ammonitrate (33,5% N), le MonoAmmonium Phosphate ou M.A.P. (12-61-0) et le sulfate de potasse (48% K_2O) (Heitz, 2010). Les engrais apportés par pulvérisation foliaire sont les suivants : l'urée (46% N) et le nitrate de potasse (13-0-46) (Heitz, 2010).

Sous Simapro, les quantités d'engrais à fabriquer sont exprimées en unité fertilisante. Par exemple, si j'apporte 170 UN/ha sous forme d'ammonitrate, j'indiquerais cette valeur sous le logiciel pour la référence « Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S ».

Les émissions vers l'environnement liées à l'apport de fertilisants sont détaillées plus loin dans ce rapport (4.10). Les apports d'engrais sont détaillés en annexe (Annexe 4).

Le bilan de fumure (engrais NPK) est présenté ci-dessous :

Tableau 7 - Bilan de fumure NPK au cours de la vie du verger SN (Souss)

Années de production	Fertilisation (kg/ha)		
	N	P2O5	K2O
Année 1	25	10	15
Année 2	40	15	30
Année 3	55	20	50
Année 4	75	25	70
Année 5	100	30	100
Année 6	130	35	130
Année 7	160	40	160
Année 8	185	45	185
Années 9 à 25	200	50	200

Verger OC (Oriental)

Le système racinaire des jeunes arbres est peu développé, c'est pourquoi les apports d'engrais sont localisés autour des arbres et sont réalisés à la main (Loussert, 1989). A partir de la 6^{ème} année, les racines sont suffisamment développées pour que la fumure soit apportée en épandage de surface sur toute la superficie du verger (Loussert, 1989). Les apports sont alors fractionnés en trois fois au cours d'une année.

Les fertilisants utilisés sont : l'Ammonitrate (33,5% N), le Superphosphate triple (45% P₂O₅) et le Sulfate de potasse (48% K₂O).

Les émissions vers l'environnement liées à l'apport de fertilisants sont détaillées plus loin dans ce rapport (4.10). Les apports d'engrais sont détaillés en annexe (Annexe 5).

Le bilan de fumure (engrais NPK) est présenté ci-dessous (Tableau 8). Il correspond au bilan de fumure de la fertirrigation (système SN) auquel on ajoute 25% d'unité fertilisante étant donné le mode d'irrigation (gravitaire). Cette valeur est alors rapportée à la densité de plantation du verger OC.

Tableau 8 - Bilan de fumure NPK au cours de la vie du verger OC (Oriental)

Années de production	Fertilisation (kg/ha)		
	N	P2O5	K2O
Année 1	17	7	10
Année 2	27	10	20
Année 3	37	14	34
Année 4	51	17	47
Année 5	68	20	68
Année 6	88	24	88
Année 7	108	28	108
Année 8	125	33	125
Année 9	145	38	145
Année 10	170	43	170
Année 11	180	45	180
Années 12-30	180	45	180

Données

L'analyse des données de terrain d'un verger commercial du Tadla (Heitz, 2010) a permis de comprendre les pratiques et de savoir quels produits commerciaux étaient utilisés en fertirrigation. En recoupant ces connaissances avec des données de la littérature (Skiredj et al., 2003 ; Loussert, 1989 ; Soler Aznar et Fayos, 2006) et avec l'expertise de M. Henri Vannière (CIRAD), il a été possible de construire les bilans de fumure pour les deux vergers. Néanmoins, ces valeurs doivent encore être validées par des experts techniques marocains ou éventuellement confrontées à de nouvelles enquêtes de terrain.

4.5. Protection du verger : production et utilisation de pesticides

Description

Les principaux ravageurs animaux sont : la mineuse (micro-lépidoptère), la cératite (ou mouche des fruits) et le pou de Californie (cochenille). La mineuse n'attaque que les jeunes plants, les traitements ont lieu les 5 premières années. La cératite n'apparaît qu'en présence de fruits, les traitements ont lieu à partir de la 6^{ème} année. Les traitements contre le pou de Californie sont également effectués à partir de la 6^{ème} année.

La lutte contre les adventices se traduit par du désherbage mécanique mais aussi chimique. On applique du désherbant sous les rangs d'arbres à l'aide d'un pulvérisateur à lances.

Dans cette partie, on prend également en compte l'application de régulateur de croissance. Afin de diminuer l'alternance de la production, les agrumiculteurs pulvérisent de l'acide gibbérellique sur leur verger. L'objectif est alors de fixer les jeunes fruits en jouant sur la nouaison.

Le transport des produits phytosanitaires depuis leur lieu de fabrication jusqu'au lieu d'utilisation est détaillé en annexe (Annexe 7).

Vergers SN (Souss) et OC (Oriental)

Les quantités de produits fabriqués et utilisés par la suite sur les deux vergers sont présentées ci-dessous.

Tableau 9 – Quantité de pesticides utilisée annuellement sur les vergers SN et OC

<u>Année 1-5 :</u>							
Matière active	Utilité	Dose (cc/hL ou g/hL)	Bouillie (L/ha)	Dose (L/ha ou kg/ha)	Masse volumique (g/cm3 = kg/L)	Nombre de traitements/an	Qté matière active (kg/ha)
Glyphosate	Herbicide	-	-	3	1,7	2	10,2
Méthomyl	Mineuse	150	1000	1,5	-	3	4,5
Total traitements/an						5	
Total herbicide							10,2
Total insecticide							4,5
TOTAL pesticides							14,7
<u>Année 6 et suivantes :</u>							
Matière active	Utilité	Dose (cc/hL ou g/hL)	Bouillie (L/ha)	Dose (L/ha ou kg/ha)	Masse volumique (g/cm3 = kg/L)	Nombre de traitements/an	Qté matière active (kg/ha)
Chlorpyrifos-ethyl	Pou de californie	150	10000	15	1,4	0,33	6,93
Malathion	Cératite	200	1000	2	1,2	1	2,4
Deltamethrine	Cératite	50	1000	0,5	0,5	1	0,25
Glyphosate	Herbicide	-	-	3	1,7	2	10,2
Acide Gibbérellique	Régulateur croissance	1	1000	0,01	-	2	0,02
Total traitements/an						6,33	
Total herbicide							10,2
Total insecticide							9,58
TOTAL pesticides							19,8

Données

Les différents traitements phytosanitaires réalisés sur le verger ont été définis à partir d'une enquête de terrain sur un verger du Tadla (Heitz, 2010).

Les nombres de traitements annuels ont été choisis en s'appuyant sur l'analyse des données de terrain du verger dans le Tadla (Heitz, 2010) et de l'expertise de M. Henri Vannière (CIRAD).

Les doses de pesticides proviennent d'une recherche bibliographique sur les caractéristiques des produits commerciaux utilisés sur le verger du Tadla (Annexe 6).

Le choix des matières actives s'est fait en accord avec la réglementation française :

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>,

et en fonction des substances caractérisées par la méthode CML 2000 (seul l'acide gibbérellique n'est pas référencé par cette méthode).

Toutes les valeurs de bouillie sont fixées à 1 000 L/ha par défaut et en tant que référence citée dans l'index phytosanitaire ACTA 2008 ; à l'exception du traitement contre le pou de Californie qui nécessite un mouillage important des arbres : on fixe alors la valeur à 10 000 L/ha (Houmy et al., 1998 et BayerCropScience).

Les masses volumiques des substances actives ont été trouvées sur le site suivant :

<http://www.wikipedia.org/>

4.6. Autres interventions

Désherbage mécanique

La lutte contre les adventices se traduit par un désherbage mécanique en inter-rangs. Les mauvaises herbes (ou adventices) provoquent une évaporation considérable des réserves en eau du sol ; il s'agit là d'un problème majeur en région méditerranéenne où l'eau est un des facteurs essentiels de la productivité des arbres.

L'élimination des mauvaises herbes se fait soit par un travail du sol peu profond à l'aide d'un pulvérisateur à disques (type cover-crop), soit à l'aide d'un gyrobroyeur. Plusieurs traitements sont nécessaires au cours d'une campagne (4.2).

Sous-solage

Le sous-solage est un travail profond du sol, environ 80 cm, réalisé en inter-rangs (généralement un rang sur deux) et sur une ligne. Il permet de redonner de la perméabilité au sol et ainsi d'améliorer le drainage naturel.

Récolte

La cueillette des fruits est effectuée manuellement. Les fruits sont disposés dans des caisses en plastique qui seront disposées sur une remorque. Les clémentines sont ensuite emmenées à l'entrée du verger pour les disposer sur un camion plateau (ouvert) qui les acheminera à la station de conditionnement.

Broyage du bois de taille

Les résidus de taille (bois et feuilles) sont restitués au sol par un broyage en inter-rangs. On pourrait envisager un autre scénario où le bois de taille serait utilisé par les ouvriers comme bois de chauffage mais cela n'a pas été étudié dans la présente étude.

4.7. Autres aspects : mise en place du verger

4.7.1. Production de plants au sein d'une pépinière

Irrigation : eau et énergie

Les besoins en eau d'un plant de petits agrumes au cours de son séjour à la pépinière sont estimés à 121 L/plant (Heitz, 2010).

La pépinière dispose, elle aussi, d'un forage et d'un bassin de stockage d'eau. La demande énergétique de la pompe puisant l'eau en profondeur et de la pompe alimentant la serre se base sur le même calcul que pour le verger.

Les besoins énergétiques sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 - Demande énergétique des pompes d'irrigation de la pépinière

<i>pompe serre</i>	Pr (kW)	N (h/ha/an)	Es (kWh)	Es (MJ)
pépinière	0,726	0,015	0,011	0,04

<i>pompe forage</i>	Pr (kW)	N (h/ha/an)	Ef (kWh)	Ef (MJ)
pépinière	44,427	0,0017	0,075	0,27

Fertilisation

La fumure azotée est estimée à 50 UN/ha (Praloran, 1971). Cela se traduit par un apport de 0,6 gN/plant.

Protection des plants

Les principaux ravageurs animaux sont : la mineuse (micro-lépidoptère) et les acariens. Le programme de protection phytosanitaire d'un plant produit sur la pépinière est présenté ci-dessous. Ces valeurs proviennent d'une enquête de terrain sur une pépinière dans le Souss (Heitz, 2010).

Tableau 11 – Programme de protection phytosanitaire d'un plant de pépinière

Matière active	Utilité	Dose (cc/hL ou g/hL)	Bouillie (L/ha)	Dose (L/ha ou kg/ha)	Masse volumique (g/cm ³ = kg/L)	Nombre de traitements	Qté matière active (kg/ha)	Nombre de plants/ha	Qté matière active (kg/plant)
Abamectine	Mineuse	25	1400	0,35	1,16	3	1,22	10000	0,00012
Acétamipride	Mineuse	20	1400	0,28	1	1	0,28	10000	0,00003
Imidaclopride	Mineuse	50	1400	0,7	1,54	2	2,16	10000	0,00022
Fénazaquin	Acariens	40	1400	0,56	1	1	0,56	10000	0,00006

Traitement des déchets

La pépinière génère chaque année de nombreux déchets. On considère que 40 % des plastiques sont recyclés, 20 % incinérés et 40 % mis en décharge ; tandis que le caoutchouc est recyclé à 100 %. Les déchets produits sont rapportés à la quantité de plants produits chaque année sur la pépinière, soit 1 300 000 plants. Les déchets générés sur la pépinière et leur traitement sont présentés ci-dessous.

Tableau 12 – Déchets générés sur la pépinière et scénario de traitement

Type de déchets	Unité	Quantité pour 1 300 000 plants	Quantité/plant	Traitement
les sacs de remplissage	kg	850	0,0007	plastiques : 40% recyclage, 20% incinération, 40% mise en décharge total qté/plant = 0,004 kg
les sacs de greffe	kg	1700	0,0013	
les sacs de tourbe	kg	148	0,0001	
plastique de couverture	kg	2500	0,0019	
matériel irrigation	kg	2000	0,0015	caoutchouc : 100% recyclage

4.7.2. Aménagements avant plantation

On considère qu'un labour est réalisé avant de procéder à l'implantation d'un verger de petits agrumes. L'opération d'arrachage n'est pas prise en compte dans la présente étude.

4.8. Synthèse agronomique de la vie entière du verger

Verger SN (Souss)

Le verger SN est modélisé selon trois périodes de vie distinctes : les trois premières années non productives, 5 années où les rendements croissent fortement et à partir de la 9^{ème} année, on considère que le verger atteint un plateau en termes de rendements.

Le rendement du verger SN à l'âge de la pleine production est de 28 tonnes/ha (RGA, 2006).

L'alternance des rendements à partir de l'âge plateau n'est pas modélisée dans cette ACV.

Les principaux indicateurs agronomiques au cours de la vie du verger sont représentés sur la Figure 7.

Le Tableau 13 présente les principaux intrants (engrais, eau, énergie d'irrigation, pesticides) par stade de vie du verger. Les valeurs correspondent à des moyennes annuelles en élément considéré au cours de chaque stade. Les valeurs entre crochets représentent la valeur minimale et la valeur maximale pour chaque stade de vie.

Verger OC (Oriental)

Le verger OC est modélisé selon quatre périodes de vie distinctes : les trois premières années non productives, 8 années où les rendements croissent fortement et à partir de la 12^{ème} année, on considère que le verger atteint un plateau en termes de rendements. Le plateau de rendement est atteint plus tardivement par le verger OC que par le verger SN du fait d'une plus faible densité de plantation (270 arbres/ha contre 500 arbres/ha). Enfin, à partir de la 31^{ème} année, une décroissance des rendements a lieu, à hauteur de -1% par an, du fait du vieillissement du verger et des maladies qui peuvent mener à l'arrachage de certains arbres.

Le rendement du verger SN à l'âge de la pleine production est de 24 tonnes/ha (RGA, 2006).

L'alternance des rendements à partir de l'âge plateau n'est pas modélisée dans cette ACV.

Les principaux indicateurs agronomiques au cours de la vie du verger sont représentés sur la Figure 8.

Le Tableau 14 présente les principaux intrants (engrais, eau, énergie d'irrigation, pesticides) par stade de vie du verger. Les valeurs correspondent à des moyennes annuelles en élément considéré au cours de chaque stade. Les valeurs entre crochets représentent la valeur minimale et la valeur maximale pour chaque stade de vie.

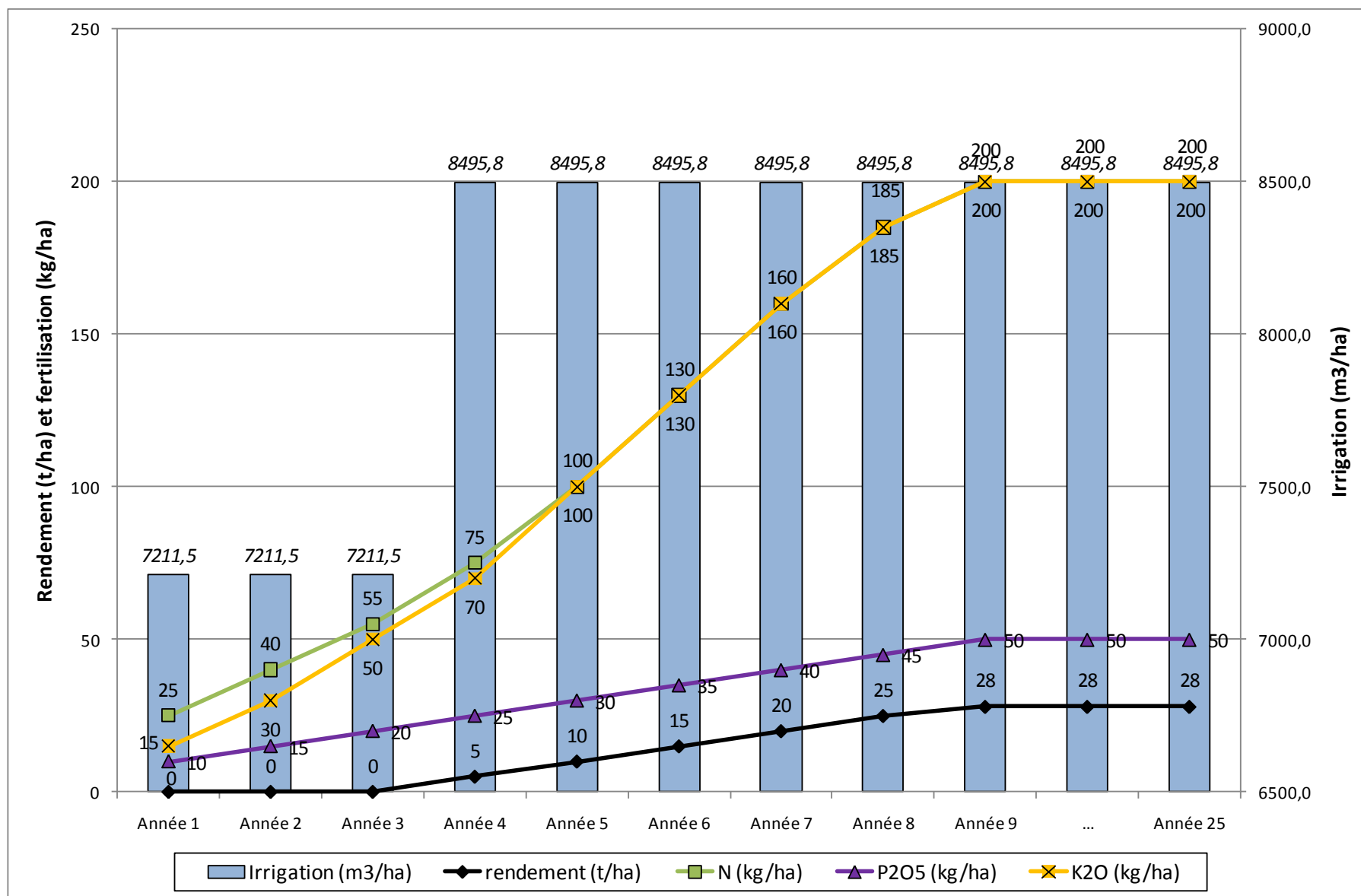


Figure 7 – Principales caractéristiques agronomiques au cours de la vie du verger SN

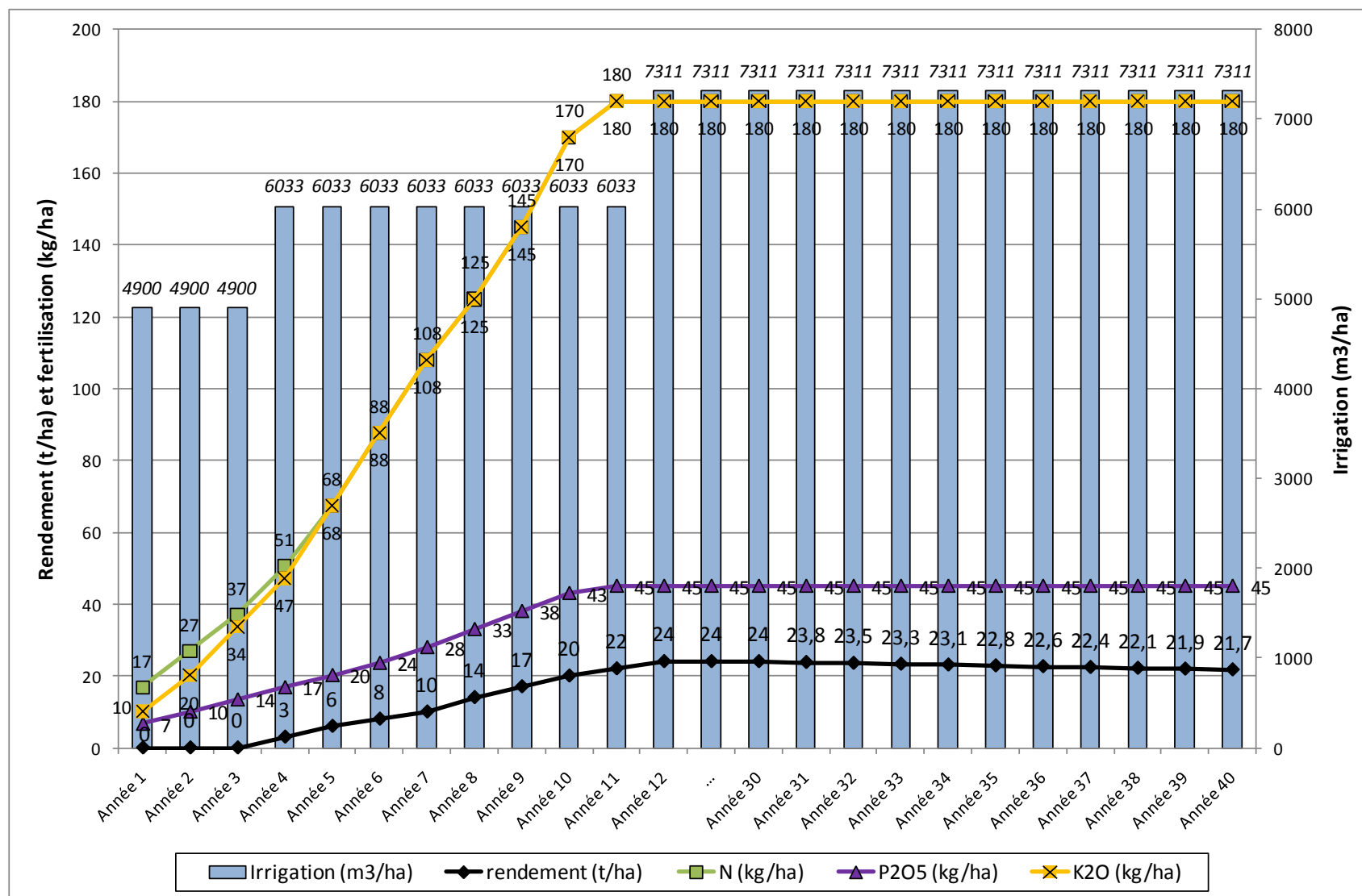


Figure 8 - Principales caractéristiques agronomiques au cours de la vie du verger OC

Tableau 13 – Caractéristiques agronomiques selon les stades de vie du verger SN

Intervention	Unité	Années non productives (0 - 3 ans)	Croissance des rendements (4 - 8 ans)	Plateau de rendements (9 - 25 ans)
Fertilisation				
N	kg/ha	40 [25 ; 55]	130 [75 ; 185]	200
P2O5	kg/ha	15 [10 ; 20]	35 [25 ; 45]	50
K2O	kg/ha	31,6 [15 ; 50]	129 [70 ; 185]	200
Irrigation				
eau	m3/ha	7211,5	8495,8	8495,8
énergie	MJ/ha	18 374,9	21 647,3	21 647,3
Protection du verger				
Méthomyl (mineuse)	kg/ha	4,5	1,8 [0 ; 4,5]	0
Chlorpyrifos-ethyl (pou de californie)	kg/ha	0	4,16 [0 ; 6,93]	6,93
Malathion (cératite)	kg/ha	0	1,44 [0 ; 2,4]	2,4
Deltamethrine (cératite)	kg/ha	0	0,15 [0 ; 0,25]	0,25
Glyphosate (herbicide)	kg/ha	10,2	10,2	10,2
Rendement	t/ha	0	15 [5 ; 25]	28

Tableau 14 - Caractéristiques agronomiques selon les stades de vie du verger OC

Intervention	Unité	Années non productives (0 - 3 ans)	Croissance des rendements (4 - 11 ans)	Plateau de rendements (12 - 30 ans)	Décroissance des rendements (31 - 40 ans)
Fertilisation					
N	kg/ha	27 [17 ; 37]	117 [51 ; 180]	180	180
P2O5	kg/ha	10 [7 ; 14]	31 [17 ; 45]	45	45
K2O	kg/ha	21 [10 ; 34]	116 [47 ; 180]	180	180
Irrigation					
eau	m3/ha	4 900	6 033	7 311	7 311
énergie	MJ/ha	31 225	38 441	46 589	46 589
Protection du verger					
Méthomyl (mineuse)	kg/ha	4,5	1,13 [0 ; 4,5]	0	0
Chlorpyrifos-ethyl (pou de californie)	kg/ha	0	5,2 [0 ; 6,93]	6,93	6,93
Malathion (cératite)	kg/ha	0	1,8 [0 ; 2,4]	2,4	2,4
Deltamethrine (cératite)	kg/ha	0	0,19 [0 ; 0,25]	0,25	0,25
Glyphosate (herbicide)	kg/ha	10,2	10,2	10,2	10,2
Rendement	t/ha	0	12,5 [3 ; 22]	24	22,7 [21,7 ; 23,8]

Aspects méthodologiques

▪ *Comment modéliser les années non productives ?*

Les phases non productives de la vie du verger, à savoir la production des plants au sein de la pépinière, les travaux d'aménagements de la parcelle avant la plantation du verger, l'implantation du verger et les trois premières années qui ne produisent pas de fruits, sont considérées comme des « coûts fixes » pour la vie du verger.

Les impacts potentiels liés à ces coûts fixes sont amortis, de manière comptable, sur toute la durée de vie productive du verger : 22 ans pour le verger SN et 37 ans pour le verger OC. C'est-à-dire que chaque année productive intègre une partie des impacts potentiels des coûts fixes.

Ces coûts fixes sont représentés en bordeaux (« plantation et années non productives ») sur les graphiques de résultats de l'analyse de contribution.

▪ *Comment obtenir 1 kg de clémentines issu de la vie entière du verger ?*

On réalise une pondération sur le rendement de chaque année. Par exemple, si la somme des rendements d'un verger sur sa vie entière vaut 750 tonnes/ha, alors une année produisant 30 tonnes/ha correspondra à 30/750 kg du kilogramme final. La somme de la production de chaque année nous permettra d'obtenir 1 kg de clémentines issu de la vie entière du verger. La décomposition du kilogramme de clémentines Nour et Cadoux est présentée en annexe (Annexe 9).

4.9. Fabrication et entretien des machines agricoles

La plupart des opérations réalisées sur le verger sont mécanisées. Il est donc nécessaire de prendre en compte les impacts liés à la fabrication de ces machines, à leur utilisation et à leur entretien. Nemecek (2007) explique comment prendre en compte ces aspects (pages 48-55 du rapport Ecolnvent, volet Agriculture).

Les machines utilisées sur les vergers SN et OC sont présentées en annexes (Annexes 10 et 11).

Les caractéristiques des machines (poids, durée de vie technique, etc) proviennent d'une étude bibliographique (Heitz, 2010). Néanmoins, la plupart d'entre elles font l'objet d'hypothèses. Ainsi, pour plus de précision, il serait nécessaire de valider ces hypothèses.

Cependant, on peut noter que les impacts dus à la fabrication et l'entretien de ces machines sont très négligeables en valeur.

4.10. Emissions au champ : azote, phosphore et pesticides

L'application de produits fertilisants et de pesticides, ainsi que la consommation de carburant provoquent des émissions vers l'environnement. Ces substances se retrouvent sous différentes formes selon le compartiment dans lequel elles sont émises. Pour les émissions dans l'air, on prendra en compte les molécules suivantes : l'ammoniac (NH_3), le protoxyde d'azote (N_2O), le dioxyde d'azote (NO_2), le diazote (N_2) et les gaz/particules émis lors de la combustion du diesel (4.11). Pour les émissions dans l'eau, on prendra en compte les nitrates (NO_3^-) et le phosphore (P), et pour les émissions dans le sol, les pesticides. Ces molécules contribuent, selon leurs caractéristiques, aux différentes catégories d'impact (eutrophisation, réchauffement climatique, etc).

L'ensemble des résultats d'émissions sont présentés dans le Tableau 17 pour le verger SN et dans le Tableau 18 pour le verger OC.

4.10.1. Emissions dans l'air

Ammoniac (NH_3)

L'application de fertilisants minéraux contenant de l'ammonium (NH_4^+) provoque la volatilisation d'ammoniac, ce qui contribue à l'acidification et à l'eutrophisation des écosystèmes sensibles.

Nemecek et al. (2007) propose des facteurs d'émissions en fonction du type de fertilisant minéral appliqué. Ces facteurs font référence à Asman (1992).

$$\text{NH}_3 \text{ (kg/ha)} = (0,02 * \text{N}_{\text{Ammonitrate}} + 0,15 * \text{N}_{\text{Urée}} + 0,04 * \text{N}_{\text{fertilisants multiples}}) * 17/14$$

Avec :

- NH_3 : quantité émise (volatilisation) ; en kg/ha
- 17/14 : facteur de conversion de N- NH_3 en NH_3
- $\text{N}_{\text{Ammonitrate}}$: quantité d'N compris dans l'apport d'ammonitrate ; en kg/ha
- $\text{N}_{\text{Urée}}$: quantité d'N compris dans l'apport d'urée ; en kg/ha
- $\text{N}_{\text{fertilisants multiples}}$: quantité d'N compris dans l'apport de fertilisants multiples (NPK, NP, NK), dans notre cas le M.A.P et le nitrate de potasse ; en kg/ha

Protoxyde d'azote (N_2O)

Le protoxyde d'azote est un produit intermédiaire du processus de dénitrification réalisé par les micro-organismes du sol (conversion des nitrates en diazote). Il peut également être un coproduit du processus de nitrification (conversion d'ammonium en nitrates). Le protoxyde d'azote possède un haut pouvoir d'effet de serre, ce qui contribue au réchauffement climatique global.

Nemecek et al. (2007) propose d'adapter le facteur d'émission de N_2O défini par l'IPCC (1996). Les émissions directes de N_2O ainsi que les émissions indirectes sont incluses dans la formule de calcul.

$$\text{N}_2\text{O (kg/ha)} = 44/28 (0,0125 (\text{UN} - 14/17 * \text{NH}_3) + 0,01 * 14/17 \text{NH}_3 + 0,025 * 14/62 * \text{NO}_3^-)$$

Avec :

- 44/28 : facteur de conversion de N-N₂O en N₂O
- UN : unité d'azote apporté en kgN/ha
- NH₃ : émission de NH₃ en kg/ha
- NO₃⁻ : émission de NO₃⁻ en kg/ha

NB : l'émission de N₂O sert également à calculer les émissions de NO₃⁻, on fixe donc la valeur de NO₃⁻ à 85 kg/ha pour le système SN et à 100 kg/ha pour le système OC. Cette valeur est une moyenne des émissions de NO₃⁻ au cours de la vie du verger calculées avec une formule simplifiée ne prenant pas en compte les émissions indirectes de N₂O.

Dioxyde d'azote (NO₂)

Lors du processus de dénitrification, des oxydes nitreux (NO_x) peuvent être produits. Ici, on prendra le cas du dioxyde d'azote (x = 2).

Nemecek et al. (2007) propose un facteur d'émission de NO_x à partir des émissions de N₂O.

$$\text{NO}_2 \text{ (kg/ha)} = 0,21 * \text{N}_2\text{O}$$

Diazote (N₂)

Il s'agit de la dernière molécule produite lors de la dénitrification. On la prend en compte uniquement pour « boucler » le bilan azoté servant à estimer les pertes en nitrates.

Brentrup et al. (2000) propose de prendre en compte un facteur d'émission de N₂ qui sera utile par la suite pour estimer les émissions de nitrates.

$$\text{N}_2 \text{ (kg/ha)} = (0,09 * \text{UN})$$

4.10.2. Emissions dans l'eau

Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont issus soit de l'application de fertilisants azotés soit de la minéralisation de la matière organique du sol sous l'action des micro-organismes. Les nitrates sont absorbés par les plantes comme nutriments minéraux. Cependant, aux périodes de fortes pluies, les précipitations excèdent l'évaporation du sol et la transpiration de la plante, ce qui amène à la saturation du sol en eau puis à la percolation vers la nappe phréatique. Etant donné que les nitrates sont très solubles dans l'eau, le risque de lessivage peut être important selon la situation. L'excès de nitrates et de phosphates dans les écosystèmes aquatiques récepteurs est à l'origine du phénomène d'eutrophisation.

Brentrup (2000) propose d'estimer les pertes en nitrates en réalisant un bilan des matières azotées entrantes et sortantes du système. Pour cette étude, la méthode de Brentrup (2000) a été adaptée à un système de culture de plantes pérennes (verger de petits agrumes) en situation méditerranéenne.

Premièrement, on réalise le bilan d'azote présenté ci-dessous (Tableau 15). On obtient alors la quantité de nitrates potentiellement lessivables. Puis, à l'aide d'un taux de drainage de l'eau, on estime la quantité de nitrates lessivés.

Bilan azoté d'après Brentrup (2000) :

Tableau 15 – Méthode de calcul des nitrates potentiellement lessivables

Année de production xxxx :

N input (kg N/ha)		N output (kg N/ha)	
Description	Quantité (kg N/ha)	Description	Quantité (kg N/ha)
Fertilisant minéral		Exportation d'N dans les fruits	
N compris dans l'eau d'irrigation		Fixation d'N dans la structure de l'arbre	
Minéralisation du sol	égal à immobilisation	Immobilisation dans le sol	égal à minéralisation
		émissions de N-NH ₃ (volatilisation)	
		émissions de N-N ₂ O (dénitrification)	
		émissions de N-N ₂ (dénitrification)	
Σ input	A	Σ output	B
N-NO₃⁻ (kg/ha)	N-NO₃⁻ = A - B		
NO₃⁻ lessivables (kg/ha)	NO₃⁻ = N-NO₃⁻ * 62/14		

N input :

- Fertilisant minéral : quantité d'azote (N) minéral apporté au cours d'une campagne de production en kgN/ha (= unité fertilisante)

Ex : Ammonitrate (33,5% N), M.A.P (12% N), Urée (46% N), etc.

- N compris dans l'eau d'irrigation :

Ex de calcul : **Soit $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}} = 10 \text{ mg/L} = 10 \text{ g/m}^3 = 0,01 \text{ kg/m}^3$**

Alors $[\text{N-NO}_3^-]_{\text{eau}} = [\text{NO}_3^-]_{\text{eau}} / (62/14) = 0,002 \text{ kg/m}^3$

Si quantité d'eau d'irrigation = **8 000 m³/ha/an**

Alors $[\text{N-NO}_3^-]_{\text{eau}} = 0,002 \text{ kg/m}^3 * 8\,000 \text{ m}^3/\text{ha} = 16 \text{ kg/ha}$

- Minéralisation N du sol = Immobilisation N dans le sol (Brentrup et al., 2000)

Autres inputs possibles (non pris en compte dans la présente étude) :

- N compris dans l'eau de pluie : on néglige cette valeur à défaut d'obtenir des données.
- Fertilisant organique : quantité d'azote (N) organique apporté au cours d'une campagne de production en kg N/ha sous forme de fumier ou autres. Cela pourrait aussi prendre en compte la restitution d'azote organique provenant du broyage à la parcelle (inter-rang) du bois taillé et des feuilles.

Ici on fait l'hypothèse que le bois de taille et les feuilles sont restitués au sol par broyage.

On pourrait étudier le cas où le bois est utilisé par les ouvriers pour le chauffage (pas de restitution à la parcelle) et où les feuilles sont utilisées comme nourriture pour les chèvres.

N output :

- Emissions de N-NH₃ (volatilisation) : cf. émissions de NH₃ que l'on convertit en N-NH₃
- Emissions de N-N₂O (dénitrification) : cf. émissions de N₂O que l'on convertit en N-N₂O
- Emissions de N-N₂ (dénitrification) : cf. émissions de N₂ que l'on convertit en N-N₂
- Exportation d'N dans les fruits : on prendra **1,37 kgN exportés/tonne de fruit** (Marchal et al., 1988) ; données S.R.A (Station de Recherches Agrumicoles) pour un clémentinier Corse greffé sur Bigaradier.

Ex de calcul : $\text{Export N fruits} = 1,37 \text{ kg/t} * 24 \text{ t/ha} = 32,9 \text{ kg/ha}$

- Fixation d'N dans la structure de l'arbre : on connaît la quantité d'azote (N) contenu dans les différents organes (racines, tronc, etc) de 2 arbres mandariniers Wilking âgés de 9 ans, W3 et W6 (Marchal et al., 1969) ; on prendra la moyenne de composition minérale de ces 2 arbres dans notre calcul.

A partir de ces valeurs, on choisit de prendre en compte l'N compris dans les gros organes ligneux non taillés :

- *Organes souterrains* : racines diamètre >15 mm, pivot
- *Organes lignifiés aériens* : tronc écorce, tronc bois, rameaux diamètre >15mm

Ces valeurs représentent le cumul de l'azote dans l'arbre au cours de ses 9 ans de vie. La valeur retenue est la moyenne de ce cumul pour les arbres W3 et W6 :

Tableau 16 – Azote contenu dans la structure d'un clémentinier

Arbre	W3 Masse N (g)	W6 Masse N (g)
chevelu	0,7	2,9
Racines < 15 mm	7,2	8
Racines > 15mm	15,7	24,4
Pivot	8,9	11,8
Tot organes souterrains	32,5	47,1
Tronc écorce	0,8	0,8
Tronc bois	4,5	4,3
Rameaux diam > 15mm	104,2	60,2
Rameaux 5 < diam < 15mm	39,4	32,9
Rameaux diam < 5mm	8,2	10,4
Total organes lignifiés aériens	156,3	107,8
Total gros organes ligneux non taillés	134,1	101,5
Moyenne W3 et W6	117,8	

On cherche alors à estimer l'export d'N dans la structure de l'arbre pour une seule année. Pour cela on corrèle l'export d'N à l'accroissement de l'arbre en volume. Pour calculer cet accroissement, on utilise des valeurs de section de tronc (en cm²) sur 20 ans (Vannière, 1992) et on estime la hauteur de l'arbre (en cm) sur ces 20 ans. Sur cette hauteur on ne conserve qu'1/3 de la valeur en posant l'hypothèse que les 2/3 restants sont taillés. On obtient ainsi le volume de bois pour chaque année au cours de la vie du verger. A partir de ces valeurs on calcule l'accroissement annuel.

En corrélant l'accroissement en volume de bois avec l'export d'azote (N), on obtient alors la valeur annuelle d'export d'N dans la structure de l'arbre (Annexe 8).

Autres output possibles (non pris en compte dans la présente étude) :

- Exportation d'N dans les feuilles : A intégrer si l'on prend en compte la restitution de l'N par dégradation dans le sol en tant qu'inputs quelques années plus tard ; ou si les feuilles sont exportées de la parcelle (nourriture pour animaux par exemple).

Afin d'obtenir la quantité de **nitrate lessivés** par lame drainante, on applique un coefficient de lessivage à la quantité de N-NO₃⁻ potentiellement lessivables (= excès du bilan d'azote).

$$F (\% \text{ lessivage}) = 1 - E_i$$

Avec :

- Ei : Efficience d'application de l'eau d'irrigation pour le système i (gravitaire ou goutte-à-goutte)
- Ei représente le % d'eau appliquée et stockée dans la zone racinaire par rapport au volume total appliqué (Bouaziz et Belabbes, 2002)
- 1 - Ei : % de pertes d'eau d'irrigation par percolation et par ruissellement (négligé ici) (Bouaziz et Belabbes, 2002)
- Ei = 0,52 pour le gravitaire (Bouaziz et Belabbes, 2002)
- Ei = 0,9 pour le goutte-à-goutte (Clemmens, 2002)

Ainsi :

$$\text{N-NO}_3^- \text{ lessivés [kg/ha]} = F (\% \text{ lessivage}) * \text{N-NO}_3^- \text{ lessivables [kg/ha]}$$

Choix du taux de drainage :

A priori, le drainage se calcule à partir d'un bilan hydrique :

$$\text{Pluie} + \text{Irrigation} = \text{Evapotranspiration} + \text{Ruissellement} + \text{Drainage} \pm \text{Stock eau du sol}$$

Cependant, dans notre cas on utilise déjà ce bilan pour estimer la quantité d'eau d'irrigation. Il est donc impossible de l'utiliser également pour estimer le drainage.

La solution envisagée est de prendre en compte l'efficience de la pluie et celle de l'irrigation. Sur un pas de temps annuel au Maroc, on a : $P \ll \text{ETM}$. On choisit alors de négliger l'efficience de la pluie, d'autant plus qu'elle est difficile à estimer. De ce fait, la lame drainante se calcule uniquement à partir de l'efficience des systèmes d'irrigation étudiés. Cela revient à dire que l'efficience de l'eau d'irrigation est égale à l'efficience de la fertilisation.

Phosphore (P)

Une partie du phosphore apporté aux arbres est perdue par lessivage, par ruissellement et par érosion du sol, ce qui peut causer de l'eutrophisation.

Nemecek (2007) propose une méthode pour estimer ces émissions :

- Phosphore lessivé vers les eaux souterraines :

$$\text{Pgw [kg/ha]} = \text{Pgwl} * \text{Fgw}$$

Avec :

- Pgw : quantité de P lessivé vers les eaux souterraines
- Pgwl : quantité de P lessivé vers les eaux souterraines pour une catégorie d'utilisation du sol ; pour une terre arable : Pgwl = 0,07 kg/ha
- Fgw : facteur de correction en cas de fertilisation par des boues (ici Fgw = 1)

- Phosphore émis par ruissellement vers les eaux de surface :

$$\text{Pro [kg/ha]} = \text{Prol} * \text{Fro}$$

Avec :

- Pro : quantité de P perdu par ruissellement vers les eaux de surface
- Prol : quantité de P perdu par ruissellement vers les eaux de surface par utilisation du sol ; pour une terre arable : Prol = 0,175 kg/ha
- Fro : facteur de correction ; Si l'on apporte uniquement des fertilisants minéraux alors $\text{Fro} = 1 + 0,2/80 * \text{P}_2\text{O}_{5\text{min}}$
où $\text{P}_2\text{O}_{5\text{min}}$ est la quantité de phosphore appliqué sur le verger en kg/ha

- Phosphore émis par érosion vers les eaux de surface :

$$\text{Per [kg/ha]} = \text{Ser} * \text{Pcs} * \text{Fr} * \text{Ferw}$$

Avec :

- Ser : quantité de sol érodé en kg/ha (*cf. ci-dessous*)
- Pcs = 0,00095 kg/kg
- Fr = 1,86
- Ferw = 0,2

NB : Le rapport Ecoinvent (Nemecek, 2007) présente une erreur d'un facteur 10 000 concernant le calcul des pertes en phosphore par érosion. Le facteur 10 000 dans la formule proposée par Nemecek a donc été supprimé.

Calcul de Ser

Pour calculer Ser, on utilise l'équation universelle des pertes en terre (USLE) :

$$A \text{ [t/acre/an]} = R * K * LS * C * P = \text{Ser [t/acre/an]}$$

Avec :

- R : facteur de pluie et de ruissellement (M'Hirit, Yassin, 1993)
- K : érodibilité du sol ; pour une texture limono-argileuse on a $K = 0,32$
- LS : facteur de longueur et d'inclinaison de la pente : pour une parcelle de 250 m de long avec 2% de pente on a $LS = 0,3748$
- C : facteur de culture et de gestion ; pour des arbres fruitiers avec un travail du sol en bandes on a : $C = 0,10 * 0,25 = 0,025$
- P : facteur de pratique de conservation ; pour une culture dans le sens de la pente, on a $P=1$

4.10.3. Emissions dans le sol**Pesticides**

On considère que 100 % des matières actives appliquées sur le verger sont émises dans le sol (Nemecek, 2007). Les émissions de pesticides vers l'environnement sont alors surestimées car cela suppose que les pesticides n'atteignent pas leurs cibles.

Métaux

Ces émissions n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

Tableau 17 – Synthèse des émissions vers l'environnement pour le verger SN

Emissions (kg/ha) : Années de production :	Quantités émises par campagne (kg/ha)								
	année 1	année 2	année 3	année 4	année 5	année 6	année 7	année 8	année 9-25
NH3 (air) - Nemecek	0,7	1,0	1,4	2,8	4,3	5,8	6,6	7,2	7,6
N2O (air) - Nemecek	3,8	4,1	4,4	4,8	5,3	5,9	6,5	6,9	7,2
NOx (air) : 100% NO2 - Nemecek	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5
N2 (air) - Brentrup	2,3	3,6	5,0	6,8	9,0	11,7	14,4	16,7	18,0
NO3- (eau) - Brentrup adapté	15,9	21,6	27,0	32,2	37,0	44,5	51,4	57,5	58,6
P lessivage (eau) - Nemecek	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
P ruissellement (eau) - Nemecek	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
P érosion (eau) - Nemecek	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Total Phosphore (kg/ha)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Chlorpyrifos-ethyl (sol)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	6,9	6,9	6,9
Malathion (sol)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,4	2,4	2,4
Deltamethrine (sol)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3
Glyphosate (sol)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Acide Gibbérellique (sol)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
Méthomyl (sol)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Herbicide (kg/ha)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Total Insecticide (kg/ha)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	9,6	9,6	9,6	9,6
Total Pesticides (kg/ha)	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	19,8	19,8	19,8	19,8

Années de production :	Quantités émises par campagne (kg/ha)																					
Emissions (kg/ha) :	année 1	année 2	année 3	année 4	année 5	année 6	année 7	année 8	année 9	année 10	année 11	années 12-30	année 31	année 32	année 33	année 34	année 35	année 36	année 37	année 38	année 39	année 40
NH3 (air) - Nemecek	0,4	0,7	0,9	1,2	1,6	2,1	2,6	3,0	3,5	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
N2O (air) - Nemecek	4,3	4,5	4,7	4,9	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,3	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
NOx (air) : 100% NO2 - Nemecek	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
N2 (air) - Brentrup	1,5	2,4	3,3	4,6	6,1	7,9	9,7	11,2	13,1	15,3	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
NO3- (eau) - Brentrup adapté	49,6	68,1	85,9	106,5	125,1	155,0	182,6	200,9	226,2	259,1	274,3	276,3	292,8	293,5	297,7	298,4	299,1	299,8	300,4	301,1	301,7	302,3
P lessivage (eau) - Nemecek	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
P ruissellement (eau) - Nemecek	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
P érosion (eau) - Nemecek	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Total Phosphore (kg/ha)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Chlorpyrifos-ethyl (sol)	0	0	0	0	0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Malathion (sol)	0	0	0	0	0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Deltamethrine (sol)	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Glyphosate (sol)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Acide Gibbérellique (sol)	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Méthomyl (sol)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Herbicide (kg/ha)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Total Insecticide (kg/ha)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Total Pesticides (kg/ha)	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8

Tableau 18 - Synthèse des émissions vers l'environnement pour le verger OC

4.11. Autres émissions directes : gaz et particules émises par combustion de diesel

Les émissions générées lors de la combustion d'un kilogramme de diesel sont données ci-dessous (Nemecek, 2007).

Tableau 19 – Emissions générées par la combustion d'un kilogramme de diesel

Nom	Quantité	Unité
Carbon dioxide, fossil	3,12E+03	g
Sulfur dioxide	1,01E+00	g
Methane	1,29E-01	g
Benzene	7,30E-03	g
Particulates, < 2,5 um	1,91	g
Cadmium	1,00E-05	g
Chromium	5,00E-05	g
Copper	1,70E-03	g
Dinitrogen monoxide	1,20E-01	g
Nickel	7,00E-05	g
Zinc	1,00E-03	g
Benzo(a)pyrene	3,00E-05	g
Ammonia	2,00E-02	g
Selenium	1,00E-05	g
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0,00329	g

4.12. Emissions indirectes

On qualifie ces émissions d'« indirectes » car elles ne sont pas directement générées au sein de notre système mais en amont de celui-ci (Figure 6). Les émissions indirectes résultent des processus de fabrication de tous les intrants (produits fertilisants, produits phytosanitaires, machines agricoles, etc.) et de la production d'énergie (carburant et électricité).

Sous Simapro, il n'est pas toujours possible de choisir une référence qui correspond à la situation marocaine. Par défaut, cette étude prend comme référence l'Europe (RER sous Simapro).

Cependant, pour la production d'électricité, un mix énergétique marocain a été reconstitué, à partir de données énergétiques de 2007. Les valeurs utilisées pour cette étude sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 – Origine de la production d'électricité au Maroc (2007)

Centrales	2007	Appellation sous Simapro
Centrales Charbon	1 785 MW	Electricity, hard coal, at power plant/FR S
Centrales Fioul	600 MW	Electricity, oil, at power plant/FR S
Centrales Gaz naturel	384 MW	Electricity, natural gas, at power plant/FR S
Centrale Thermique Diesel	69 MW	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER S
Centrales turbines à gaz	615 MW	Natural gas, burned in gas turbine/CH S
Toal Thermique (ONE & JLEC)	3 453 MW	
Centrales hydrauliques	1347 MW	Electricity, hydropower, at power plant/FR S
Centrales à transfert d'énergie par pompage	464 MW	Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/FR S
Parcs éoliens (CED et ONE)	114 MW	Electricity, at wind power plant/RER S
CAPACITE DE PRODUCTION LOCALE	5 378 MW	
Interconnexion Europe	1 500 MW	Electricity, medium voltage, production RER, at grid/RER S
CAPACITE DE PRODUCTION TOTALE	6 878 MW	

Source : <http://www.istichar.ma/electricity.asp.html>

5. Etapes du Cycle de Vie des petits agrumes : Post-verger

5.1. Conditionnement des fruits

Les clémentines récoltées sur le verger sont emmenées le jour même à la station de conditionnement la plus proche. A leur arrivée, soit elles sont stockées en chambre froide, soit elles vont directement sur la chaîne de conditionnement (Annexe 12). Elles subissent alors un traitement pesticide avant de rentrer sur la chaîne, puis les fruits sont successivement triés, lavés, séchés, cirés, retriés et enfin ils sont emballés et étiquetés en fonction de leur destination (Annexe 13).

La plupart des fruits sont destinés à l'export, cependant au cours du tri les fruits de moins bonne qualité sont retirés de la chaîne de conditionnement pour être vendus sur le marché local. Lors du tri, certains fruits sont invendables et seront considérés comme des pertes. Les écarts de triage sont d'ordre physique ou phytosanitaire (Fourtassi, 1998). Les causes d'ordre physique sont des défauts de cueillette (blessures, présence de pédoncule), des anomalies physiologiques (déformation, peau rugueuse), des anomalies dues aux aléas climatiques (gel, grêle, insolation) ou des défauts de calibre (petit calibre, gros calibre). Les causes d'ordre phytosanitaire concernent les ravageurs (cératite, pou de Californie, escargot, autres) et les maladies (pourriture, fumagine).

Emploi de produits phytosanitaires

Les pesticides employés sur la chaîne de conditionnement sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 – Pesticides utilisés sur la chaîne de conditionnement

Produits utilisés	Matière active	Quantité de produit pour une campagne	Densité	Quantité matière active (kg/t de fruits)	Remarques
KENOPEL	Guazatine 20%	10,5 L pour 70 t conditionnées	1,06	0,032	Douche - drencher
FUNGAFLO 500 EC	IMAZALIL (500 g/L)	environ 1,5 L/t	1,13	0,848	Cire mélangée avec produit anti-fongique

Eau et énergie utilisées

On estime qu'il faut 0,38 m³ d'eau et une énergie de 36 MJ pour conditionner une tonne de clémentines.

Emballages et autres aspects

En fin de chaîne de conditionnement, les clémentines sont emballées dans des cagettes pouvant contenir 10 kg de fruits. Il s'agit d'un emballage PEG 310. Le détail des composants de cette cagette en bois sont présentés dans le tableau ci-dessous (<http://www.elboursa.com/>).

Tableau 22 – Détails de l'étape d'emballage au sein de la station de conditionnement

Type de données	Objet	Quantité (en m3/t de fruits)	Unité	Appellation sous Simapro
Caisse de fruits	Bois (peeled wood)	0,054	m3/t fruits	Wood chips, softwood, from industry, u=40%, at plant/RER S
	Wallboard	0,049	m3/t fruits	Fibreboard soft, at plant (u=7%)/CH S
	Sawed wood	0,014	m3/t fruits	Sawn timber, softwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER S
Palette	Bois	0,77	unité/t fruits	EUR-flat pallet/RER S
Bande plastique	plastic strapping	0,19	kg/t fruits	Polypropylene, granulate, at plant/RER S

Les caisses (ou cagettes) de clémentines sont empilées sur une palette en bois. Une palette supporte 130 caisses de 10 kg, soit 1 300 kg en tout. Les caisses sont réparties sur 13 étages, contenant chacun 10 caisses.

L'ensemble des caisses est ensuite entouré d'une bande plastique (ou « plastic strapping band »). Avec les dimensions de chaque caisse, il est alors possible de calculer le nombre de mètres de bande nécessaire pour entourer convenablement l'ensemble des caisses disposées sur une palette.

Les machines servant à conditionner les fruits ainsi que le tapis roulant n'ont pas été pris en compte dans cette étude faute de données fiables accessibles. Cependant, les impacts liés à ces machines sont négligeables lorsqu'on les rapporte à la quantité de fruits traités par an.

Données

Les informations concernant les pesticides, l'eau et l'énergie proviennent d'une enquête de terrain dans une station de conditionnement située à Casablanca (Heitz, 2010).

5.2. Transport des fruits

Les fruits, une fois récoltés, sont transportés depuis le verger jusqu'en France par différents moyens de transport. L'essentiel du transport se fait par camion. Les camions utilisés entre le verger et la station de conditionnement ne sont pas frigorifiques, ce sont des camions « plateau » ouverts (Figure 9). Ces camions appartiennent à la station de conditionnement. On comptera donc la distance verger-station de conditionnement deux fois dans le modèle : une fois pour l'aller avec les caisses vides et une fois pour le retour avec les clémentines. Ces camions sont capables de transporter entre 10 et 12 tonnes de fruits par voyage.



Figure 9 - Camion solo transportant les fruits depuis le verger jusqu'à la station de conditionnement (Heitz)

Les camions transportant les fruits jusqu'en France sont frigorifiques et ont une capacité brute d'environ 25 tonnes. Ils doivent respecter la Norme européenne d'émission Euro qui fixe les limites maximales de rejets polluants pour les véhicules roulants. Les principales émissions considérées sont les suivantes : Oxydes d'azote (NOx), Monoxyde de carbone (CO) et Hydrocarbures.

Etant donné que ces camions frigorifiques appartiennent à des sociétés privées, on considère qu'ils ne reviennent pas à vide.

Les fruits sont également transportés par bateau entre le Maroc et la France.

Le chemin emprunté pour acheminer la marchandise depuis le Maroc jusqu'en France sera détaillée par la suite pour chaque système étudié.

Système SN (Souss)

Les clémentines produites dans la région de Taroudant sont acheminées par camion plateau jusqu'à la station de conditionnement située à Agadir. Une fois conditionnés, les petits agrumes sont emmenés par des camions jusqu'au port d'Agadir. La marchandise est alors transportée par bateau depuis le port d'Agadir jusqu'à Port Vendres. Un dernier camion amène les fruits jusqu'au marché Saint Charles.

Un scénario alternatif d'acheminement des fruits jusqu'en France sera étudié par la suite dans la partie consacrée à l'analyse de sensibilité.

Les distances parcourues entre le lieu de production et le lieu de dépôt français sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 – Distances parcourues entre le lieu de production des fruits et St Charles (Système SN)

Transport	Distance (km)	Moyen de transport	Appellation sous Simapro
verger-station de conditionnement	90 * 2	camion plateau	Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER S
station de conditionnement-port marocain	10	camion	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S
port marocain-port français	2400	bateau	Transport, transoceanic freight ship/OCE S
port français-marché St Charles	40	camion frigorifique	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S

Système OC (Oriental)

Les clémentines produites dans la région de Berkane sont acheminées par camion plateau jusqu'à la station de conditionnement située à Berkane. Une fois conditionnés, les petits agrumes sont emmenés par des camions jusqu'au port de Nador. La marchandise est alors transportée par bateau depuis le port de Nador jusqu'à Port Vendres. Un dernier camion amène les fruits jusqu'au marché Saint Charles.

Un scénario alternatif d'acheminement des fruits jusqu'en France sera étudié par la suite dans la partie consacrée à l'analyse de sensibilité.

Les distances parcourues entre le lieu de production et le lieu de dépôt français sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 24 - Distances parcourues entre le lieu de production des fruits et St Charles (Système OC)

Transport	Distance (km)	Moyen de transport	Appellation sous Simapro
verger-station de conditionnement	2 * 30	camion plateau	Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER S
station de conditionnement-port marocain	80	camion	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S
port marocain-port français	1400	bateau	Transport, transoceanic freight ship/OCE S
port français-marché St Charles	40	camion frigorifique	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S

6. Résultats de l'ACV : Analyse de contribution

6.1. Résultats pour le système SN (Souss)

Un impact environnemental résulte, par définition, du croisement entre la vulnérabilité du milieu et les pratiques (ou activités) réalisées sur ce milieu. L'ACV ne tient pas compte des spécificités du milieu, on considère que l'environnement réagira de la même façon pour des pratiques identiques quelque soit son lieu d'occurrence. Cela revient à supposer que le milieu est toujours vulnérable. On parle ainsi d'impacts potentiels sur l'environnement.

Les résultats d'impacts potentiels sur l'environnement pour la mise à disposition du marché français d'un kilogramme de clémentines marocaines sont présentés sur la Figure 10 et dans le Tableau 25. Les impacts liés au stade de production agricole sont présentés sur la Figure 11 et dans le Tableau 26.

Par la suite, les résultats de chaque catégorie d'impact potentiel (épuisement des ressources naturelles, acidification, etc.) seront présentés en détails de la manière suivante :

- Analyse de contribution d'un kilogramme de clémentines Nour rendu à la porte du marché St Charles
- Analyse de contribution d'un kg de Nour à la sortie du verger
- Analyse de contribution des principaux processus
- Analyse de contribution des principales substances

On rappelle que chaque résultat est exprimé par unité fonctionnelle.

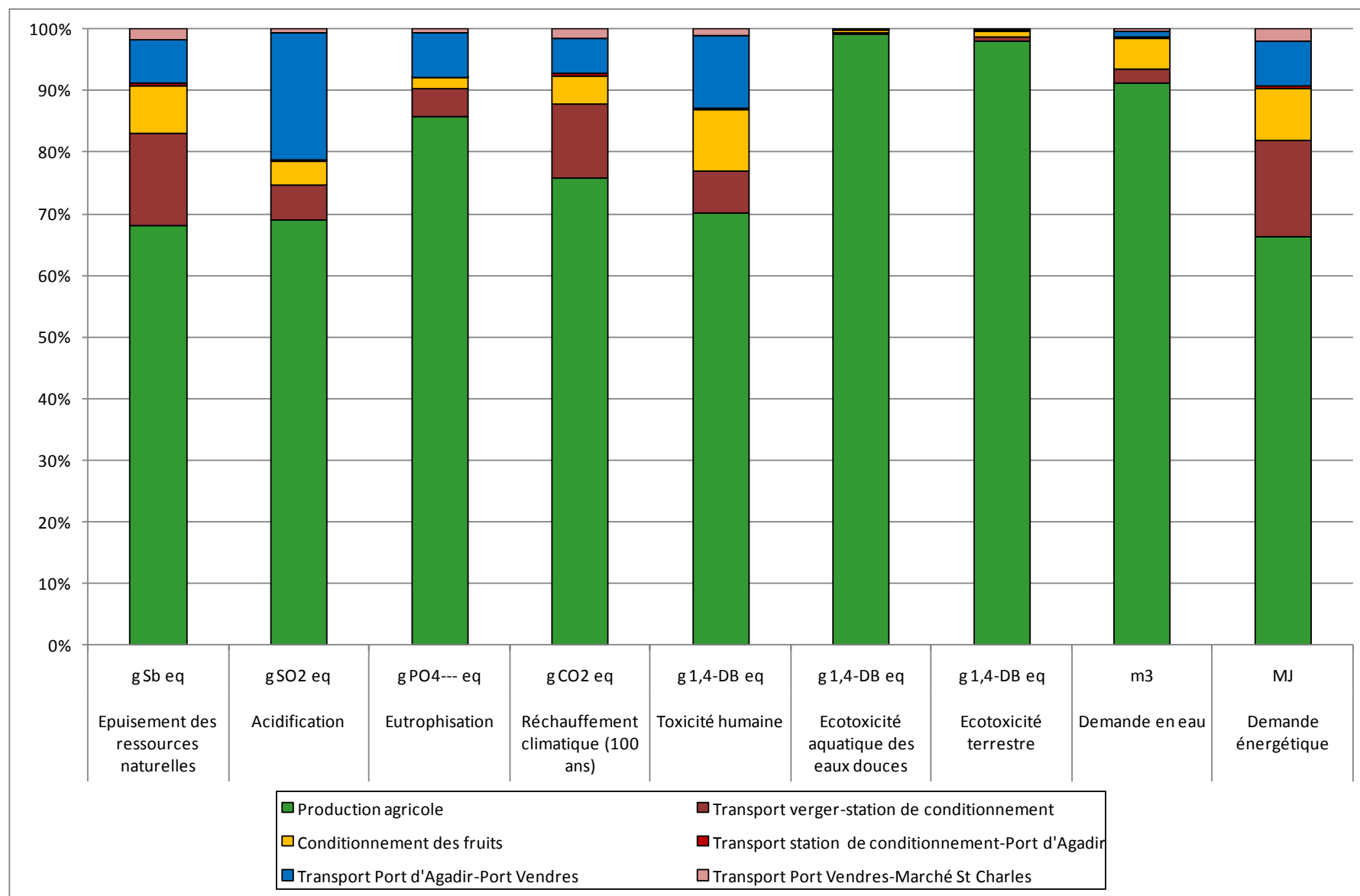


Figure 10 – Analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)

Tableau 25 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)

Catégorie d'impact	Unité	Total	Production agricole	Transport verger-station de conditionnement	Conditionnement des fruits	Transport station de conditionnement-Port d'Agadir	Transport Port d'Agadir-Port Vendres	Transport Port Vendres-Marché St Charles
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	2,47	1,68	0,37	0,19	0,01	0,17	0,04
Acidification	g SO2 eq	2,75	1,90	0,15	0,11	0,00	0,57	0,02
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,66	0,57	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	438,77	332,52	53,25	19,50	1,55	25,76	6,19
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	138,83	97,30	9,40	13,83	0,34	16,61	1,35
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	664,97	659,29	2,21	2,20	0,09	0,83	0,36
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	17,16	16,84	0,09	0,16	0,00	0,06	0,01
Demande en eau	m3	3,03	2,76	0,06	0,16	0,00	0,03	0,01
Demande énergétique	MJ	5,50	3,65	0,86	0,47	0,03	0,40	0,10

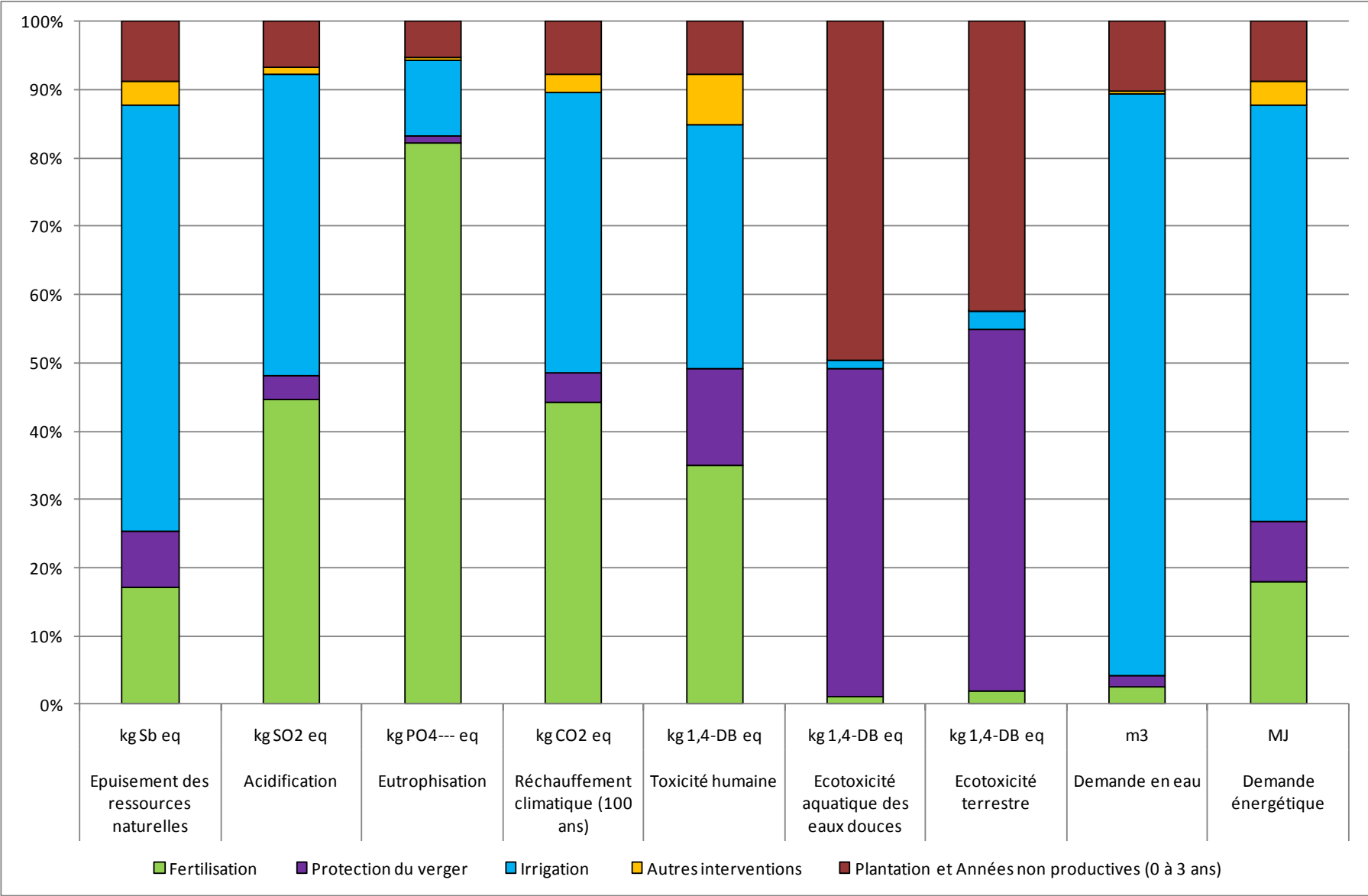


Figure 11 - Analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger

Tableau 26 - Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger

Catégorie d'impact	Unité	Total	Fertilisation	Protection du verger	Irrigation	Autres interventions	Plantation et Années non productives (0 à 3 ans)
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	1,53	0,26	0,12	0,96	0,05	0,13
Acidification	g SO2 eq	1,72	0,77	0,06	0,76	0,02	0,12
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,52	0,42	0,01	0,06	0,00	0,03
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	302,17	133,44	13,47	123,97	7,61	23,68
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	88,42	30,97	12,44	31,65	6,61	6,75
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	598,89	6,28	287,72	7,08	0,62	297,18
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	15,30	0,30	8,11	0,40	0,01	6,48
Demande en eau	m3	2,51	0,06	0,04	2,14	0,01	0,26
Demande énergétique	MJ	3,31	0,59	0,29	2,02	0,12	0,29

Épuisement des ressources naturelles

La valeur totale de l'épuisement des ressources naturelles, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 2,47 g Sb eq (Figure 12). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (68,2 %).

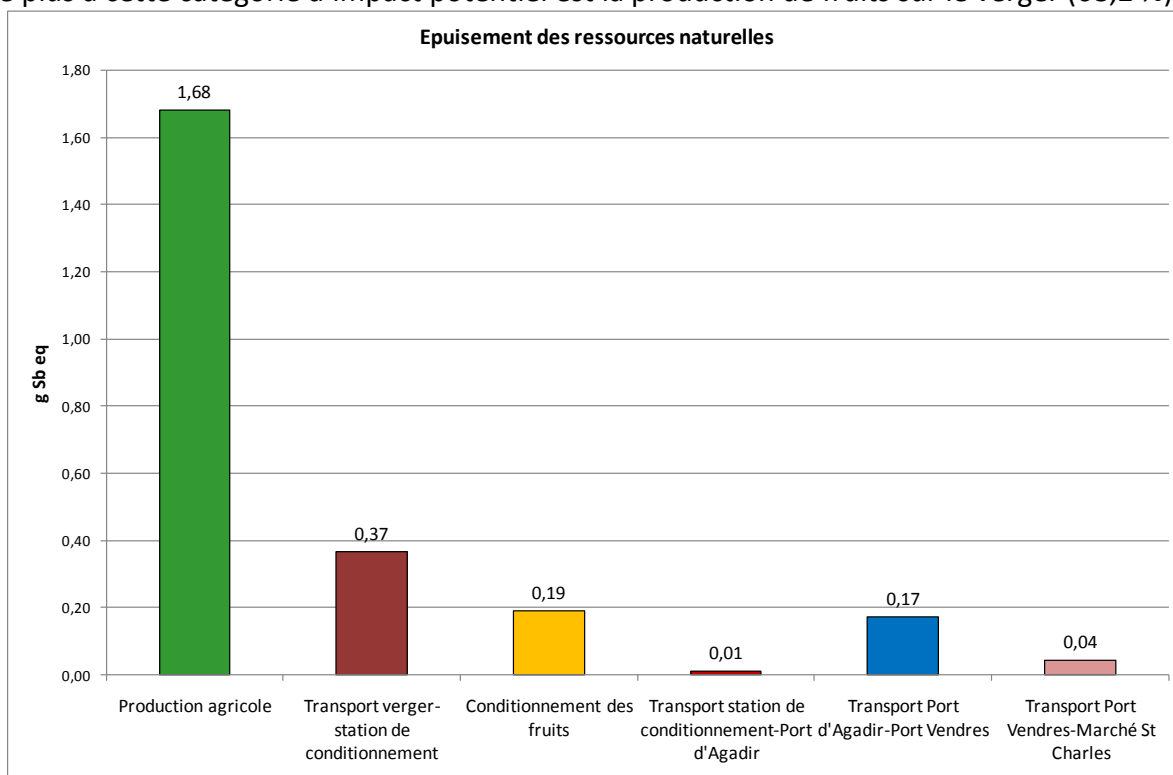


Figure 12 – Épuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'épuisement des ressources naturelles, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 62,6 % de cet impact potentiel.

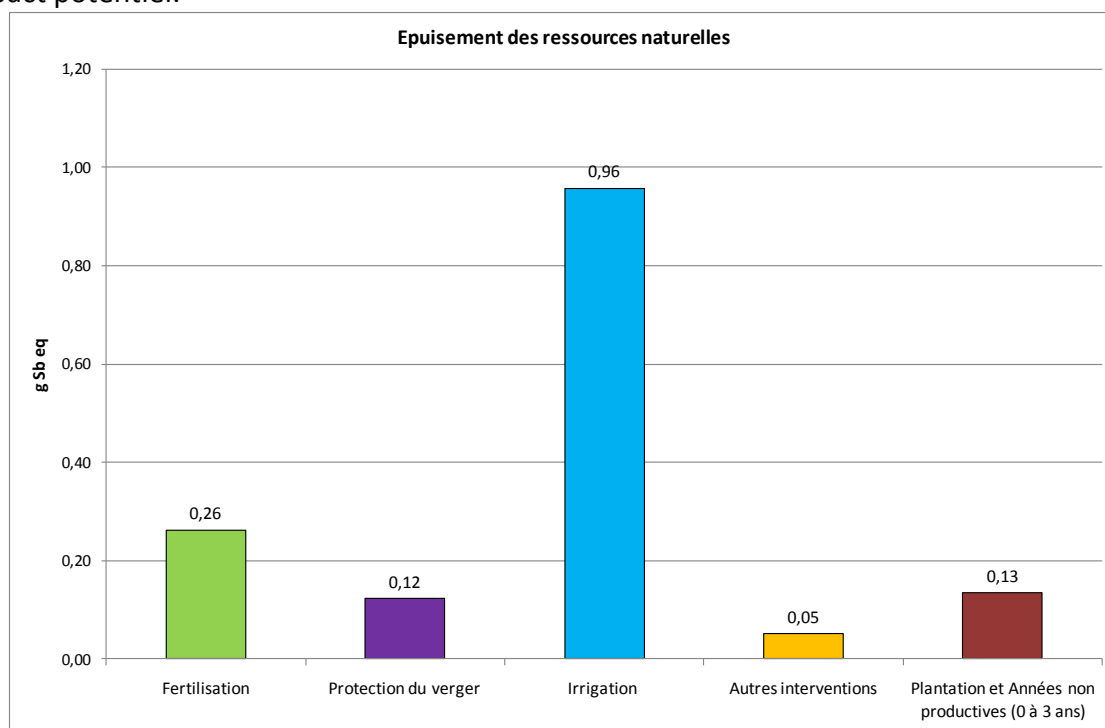


Figure 13 - Épuisement des ressources naturelles, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à l'épuisement des ressources naturelles est :
« Electricity, hard coal, at power plant/FR S » pour 22,7 %.

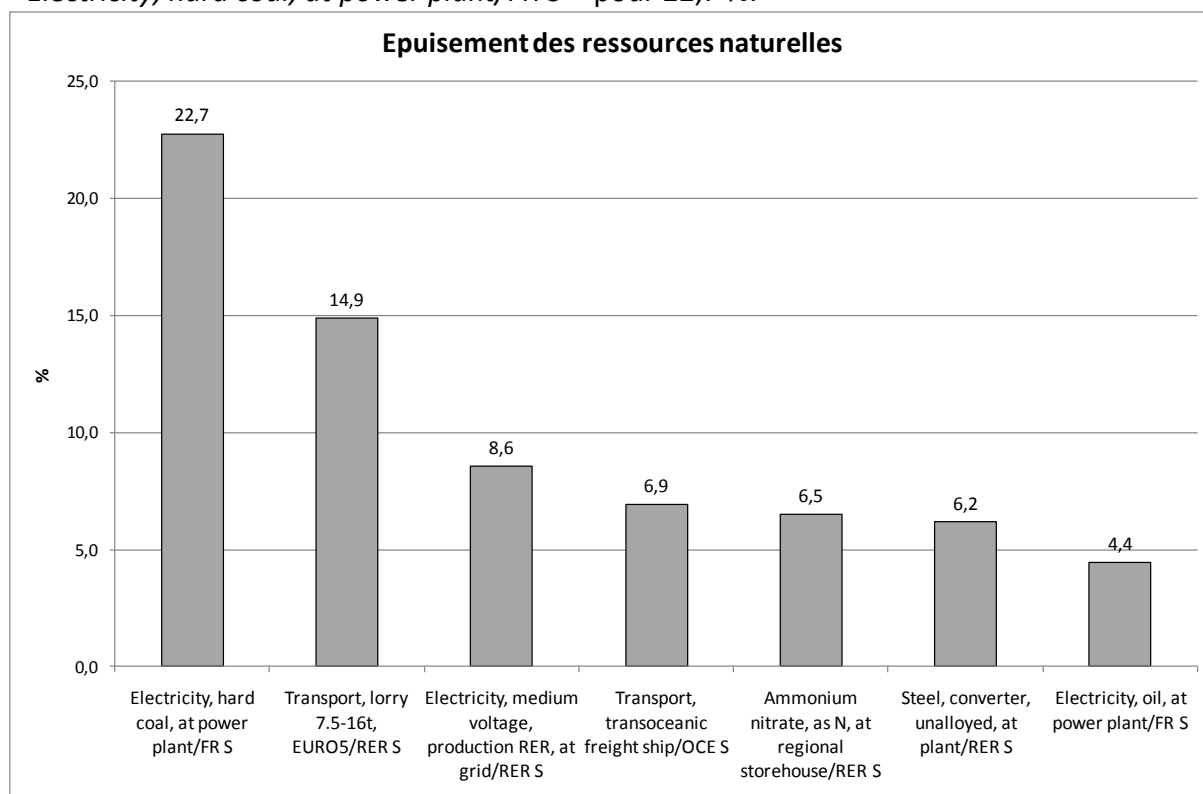


Figure 14 – Processus contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'épuisement des ressources naturelles est le pétrole (39,2 %).

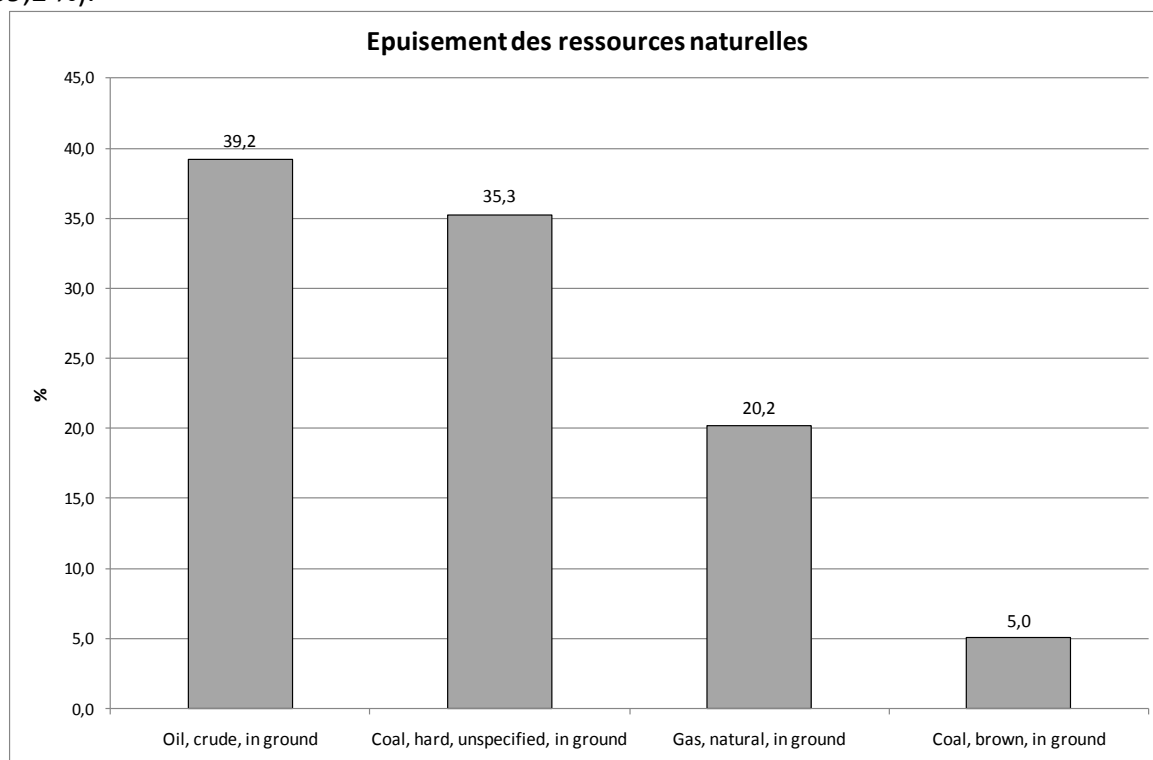


Figure 15 – Substances contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système SN, marché St Charles

Acidification

La valeur totale de l'acidification, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 2,75 g SO₂ eq (Figure 16). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (69,1 %).

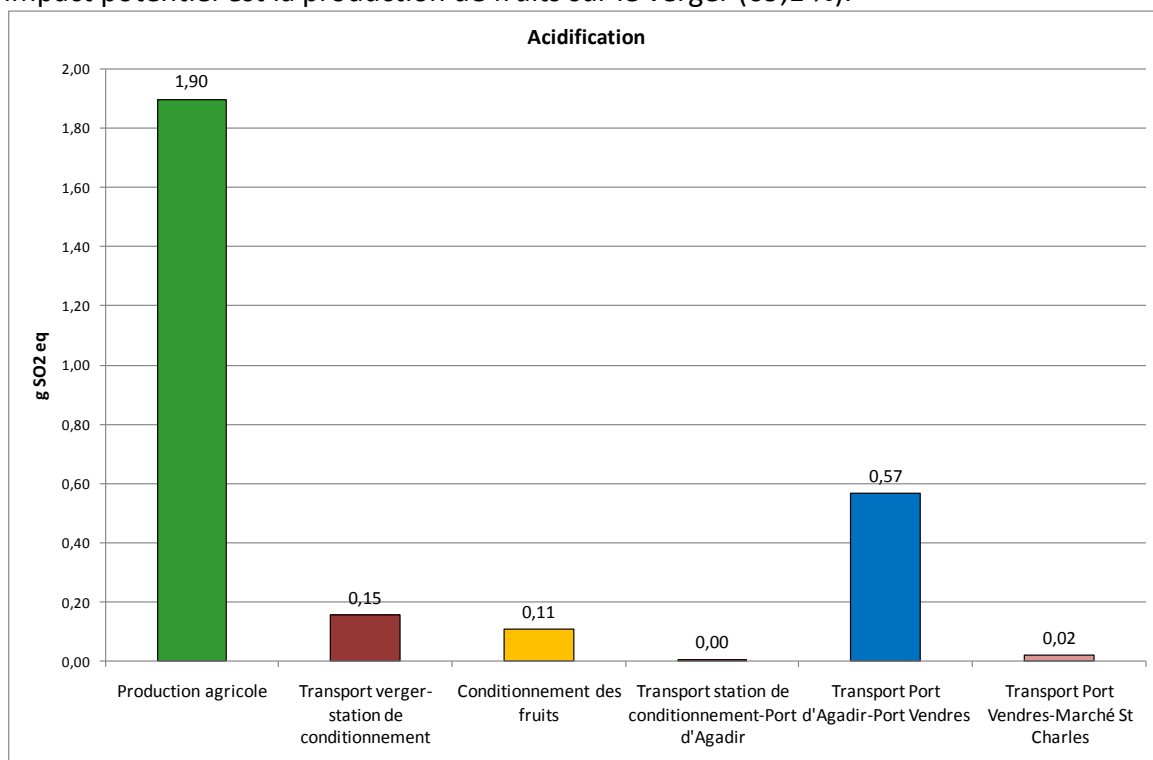


Figure 16 – Acidification, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'acidification, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la fertilisation contribue à 44,7 % de cet impact potentiel.

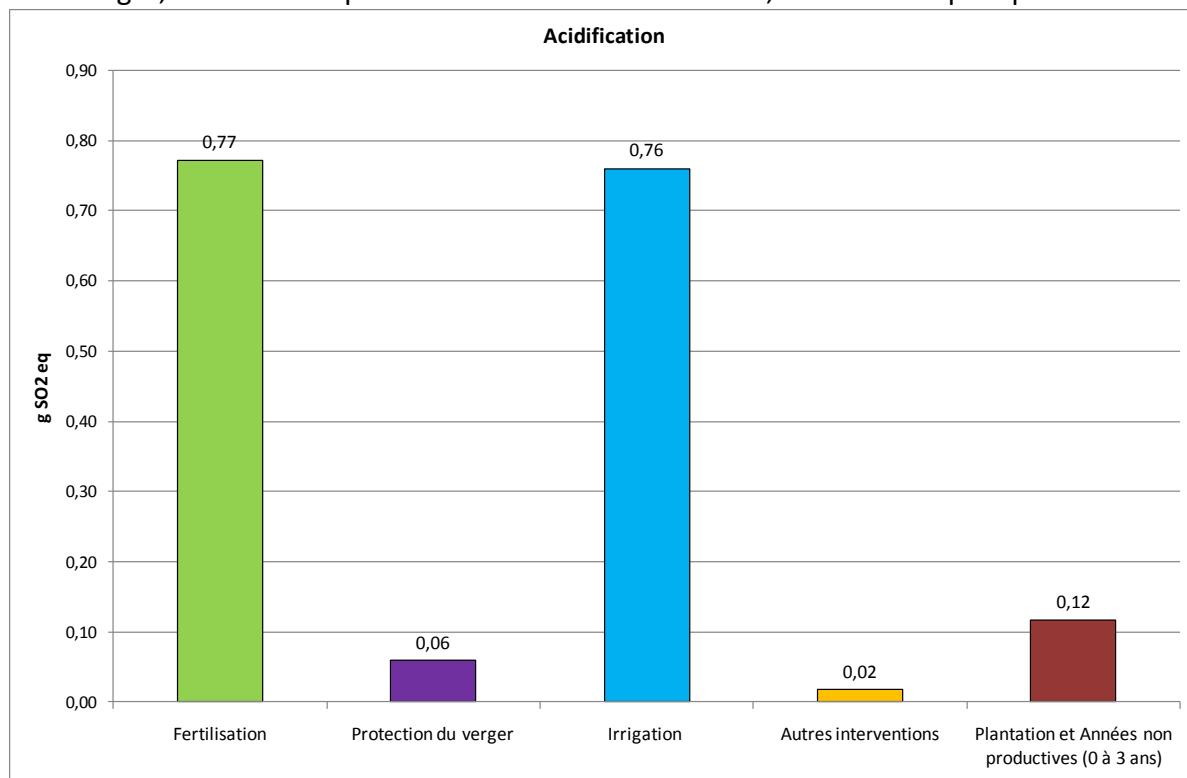


Figure 17 – Acidification, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à l'acidification est : « *Transport, transoceanic freight ship/OCE S* » pour 20,6 %.

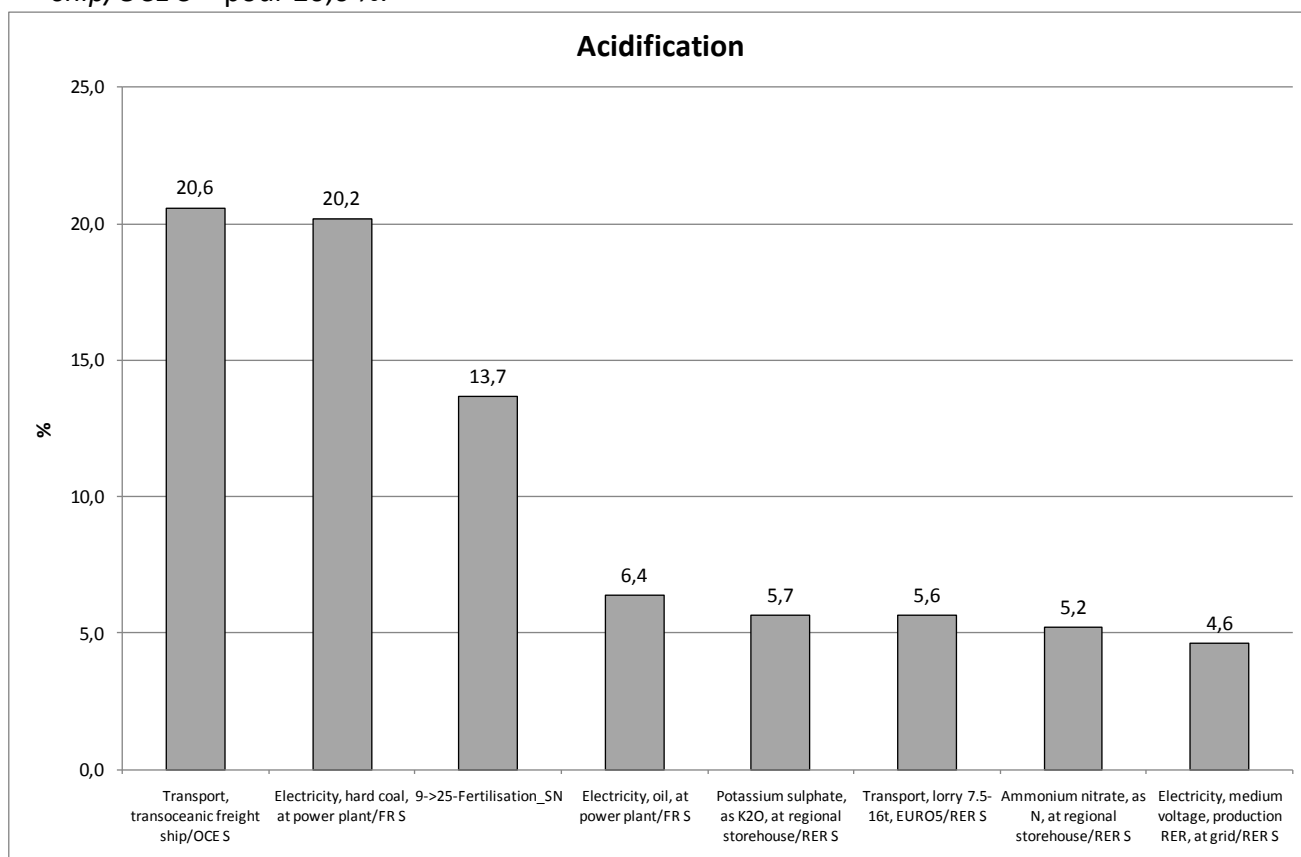


Figure 18 – Processus contribuant à l'acidification, système SN, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'acidification est le dioxyde de soufre (58,7 %).

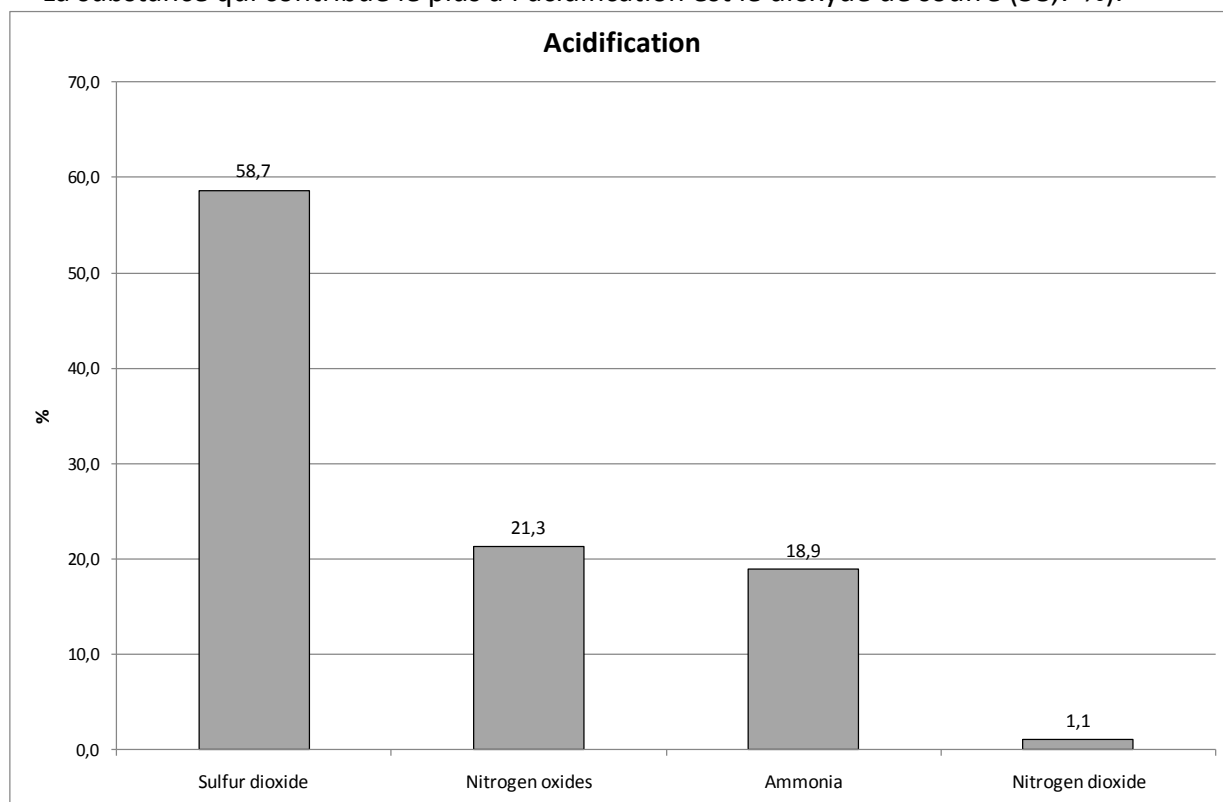


Figure 19 - Substances contribuant à l'acidification, système SN, marché St Charles

Eutrophisation

La valeur totale de l'eutrophisation, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 0,66 g PO_4^{3-} eq (Figure 20). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (85,8 %).

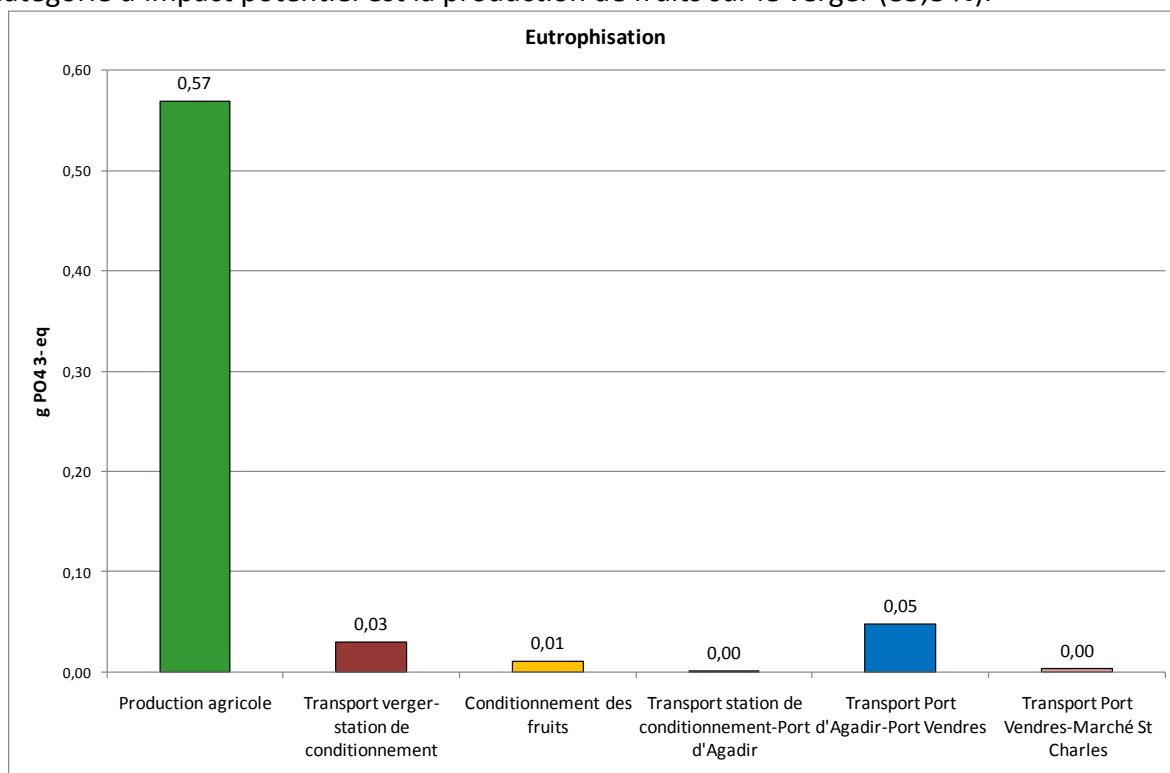


Figure 20 – Eutrophisation, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'eutrophisation, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la fertilisation contribue à 82,2 % de cet impact potentiel.

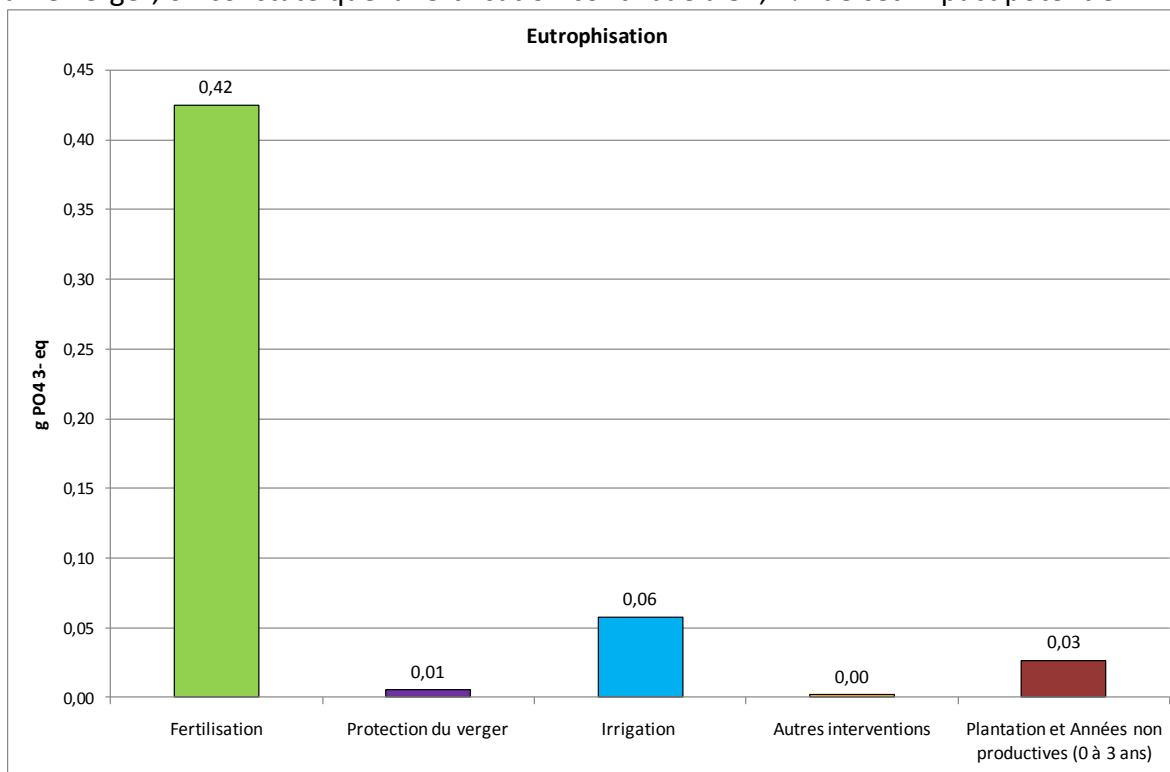


Figure 21 – Eutrophisation, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à l'eutrophisation est : « 9->25-Fertilisation_SN » pour 40,2 %.

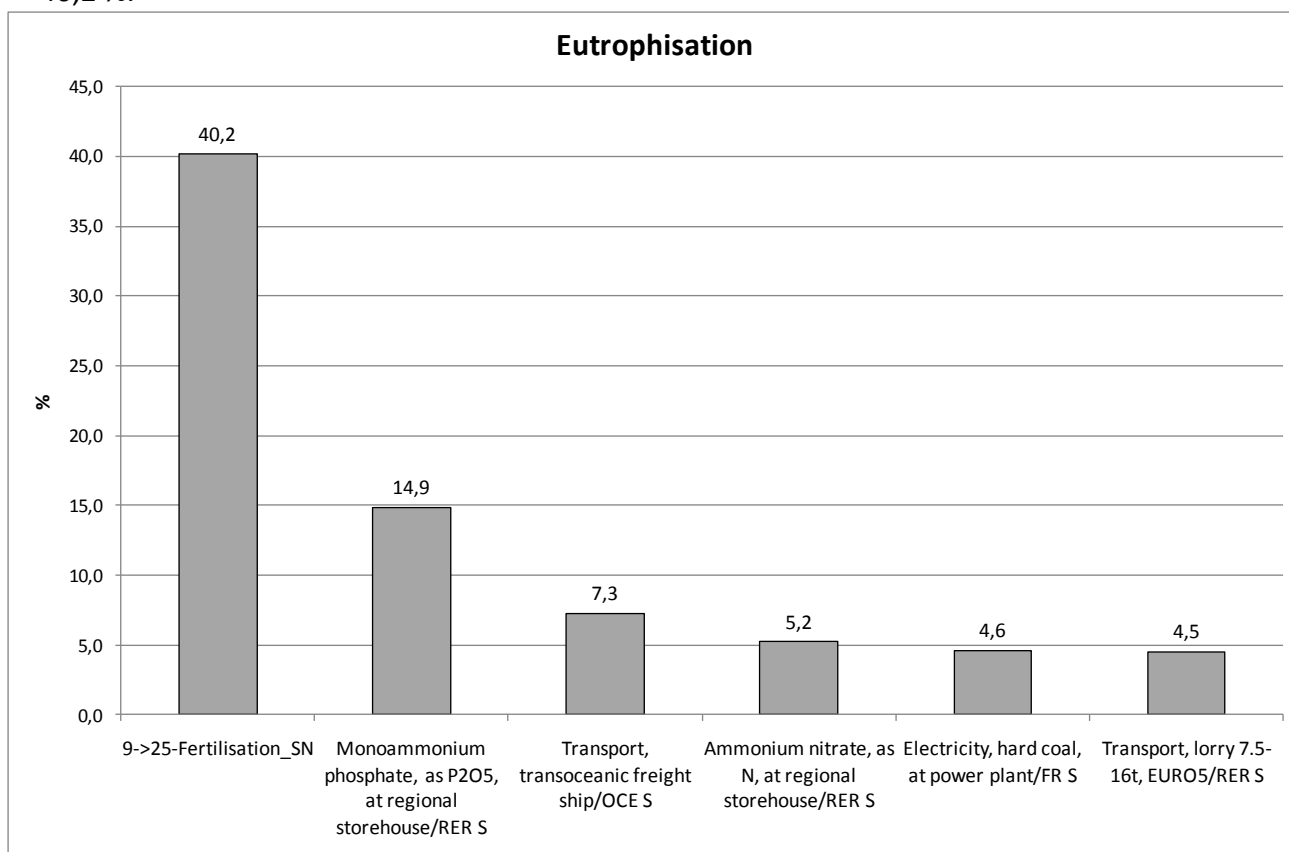


Figure 22 – Processus contribuant à l'eutrophisation, système SN, marché St Charles

Les substances qui contribuent le plus à l'eutrophisation sont les nitrates (33,2 %).

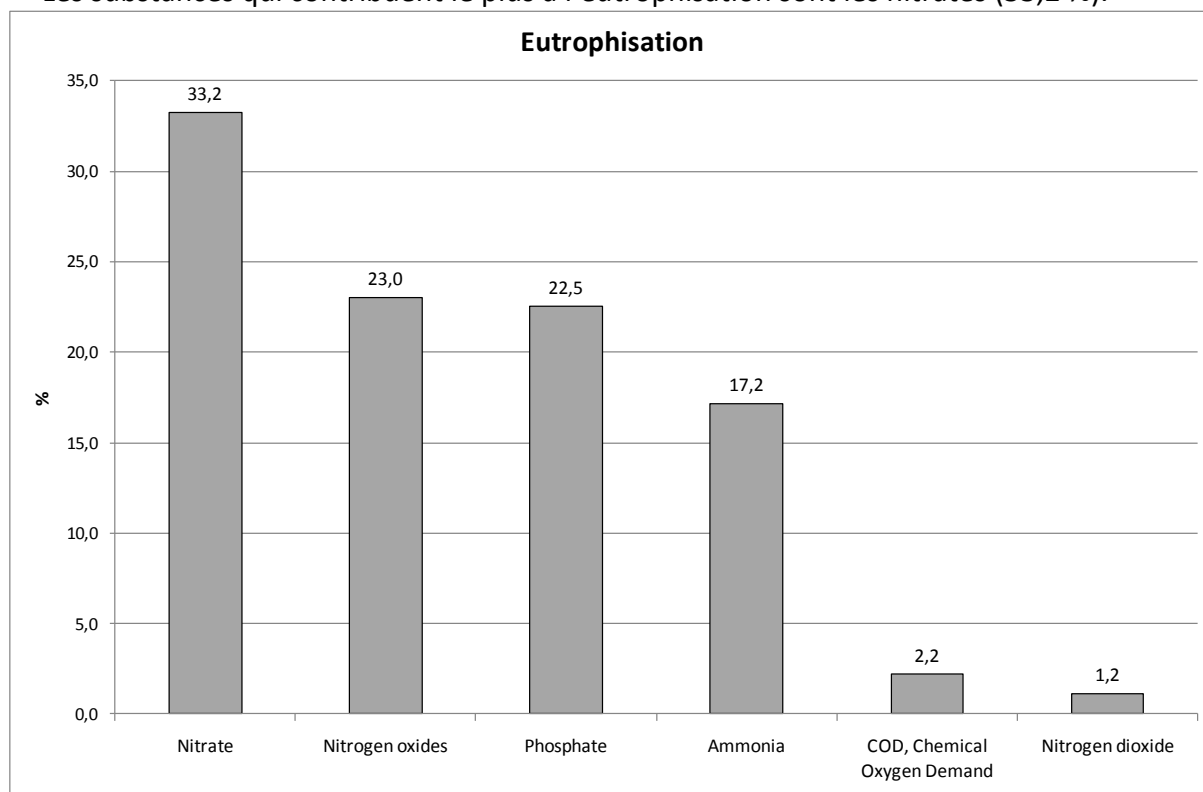


Figure 23 - Substances contribuant à l'eutrophisation, système SN, marché St Charles

Réchauffement climatique

La valeur totale du réchauffement climatique, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 438,7 g CO₂ eq (Figure 24). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (75,8 %).

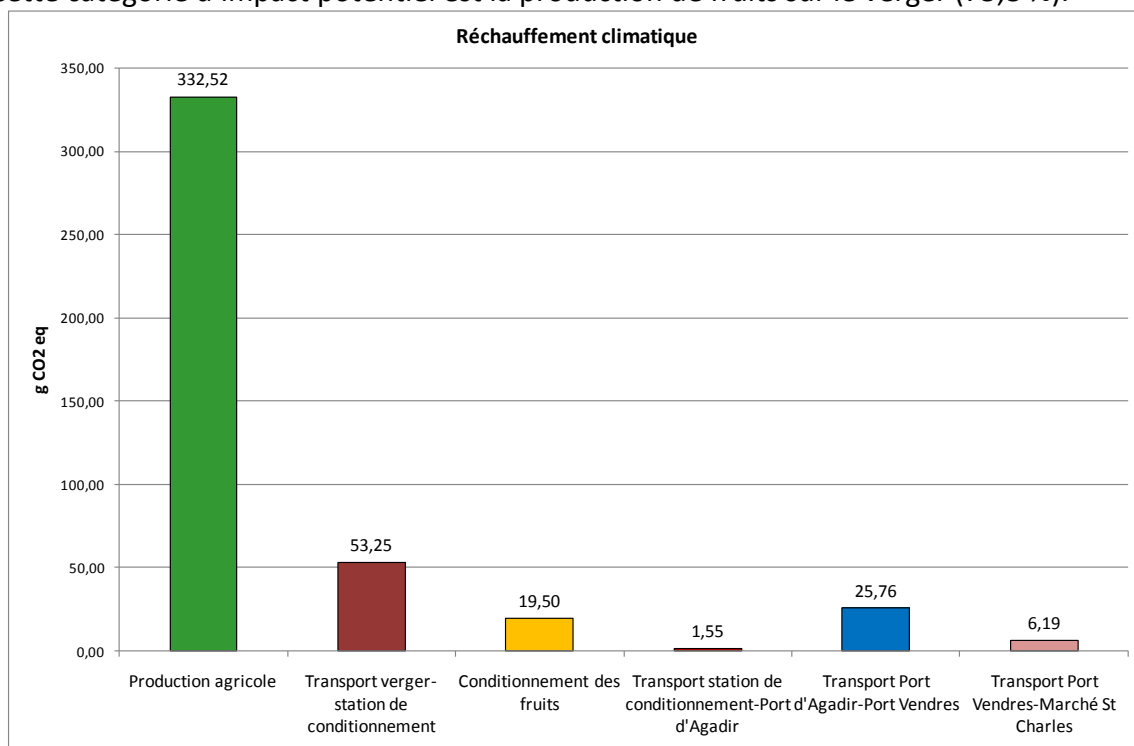


Figure 24 – Réchauffement climatique, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement le réchauffement climatique, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la fertilisation contribue à 44,2 % de cet impact potentiel.

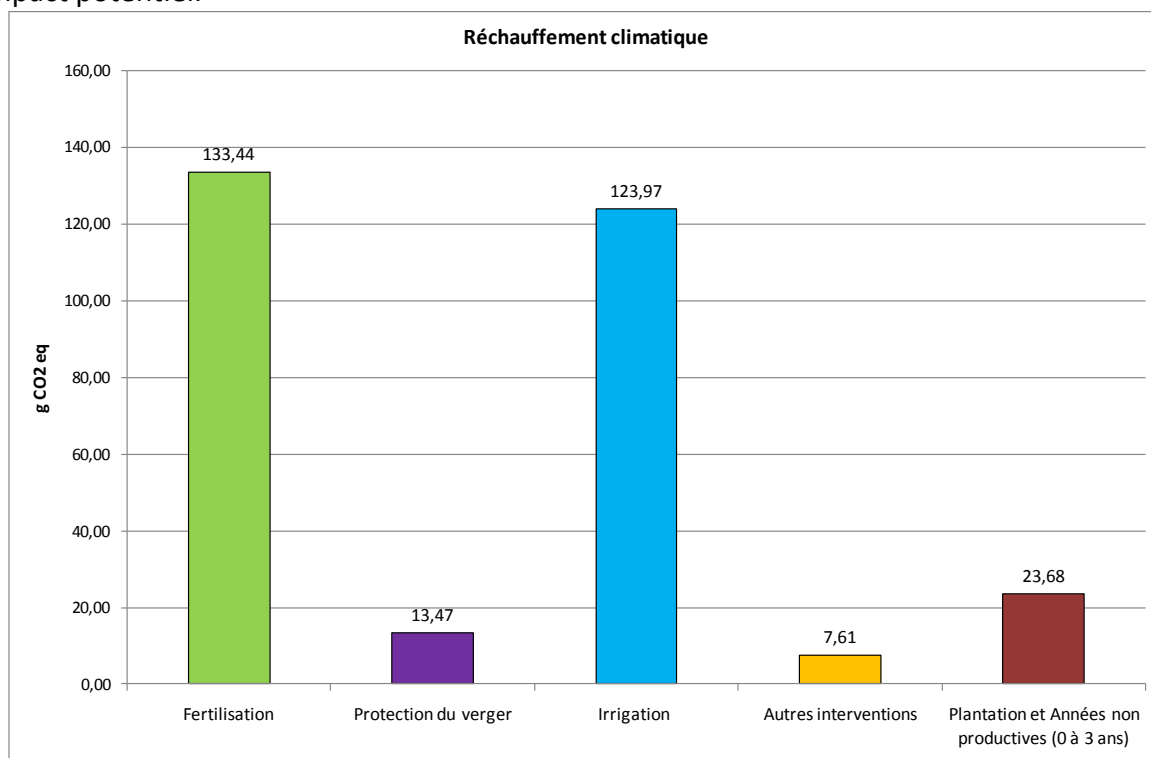


Figure 25 – Réchauffement climatique, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus au réchauffement climatique est : « *Electricity, hard coal, at power plant/FR S* » pour 16,6 %.

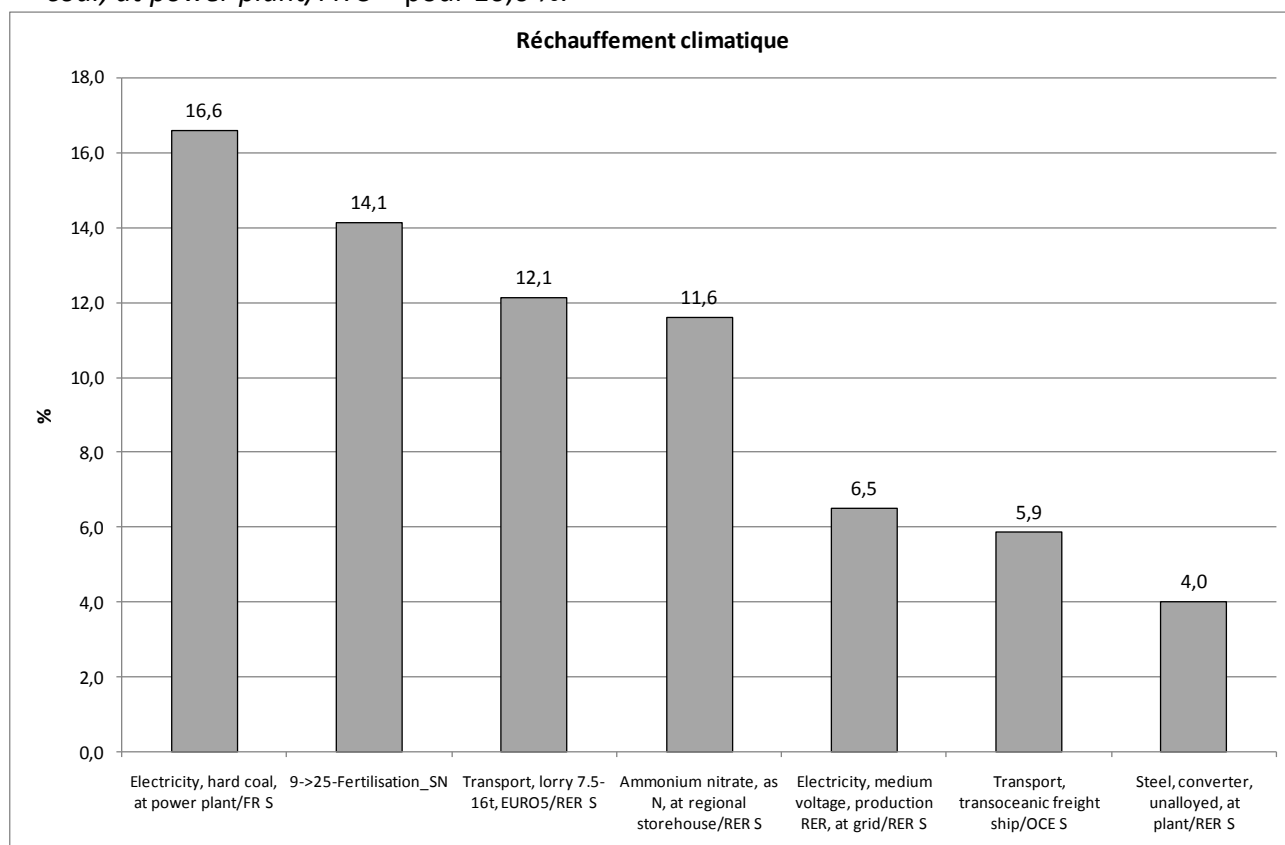


Figure 26 – Processus contribuant au réchauffement climatique, système SN, marché St Charles

La substance qui contribue le plus au réchauffement climatique est le dioxyde de carbone (69,3 %).

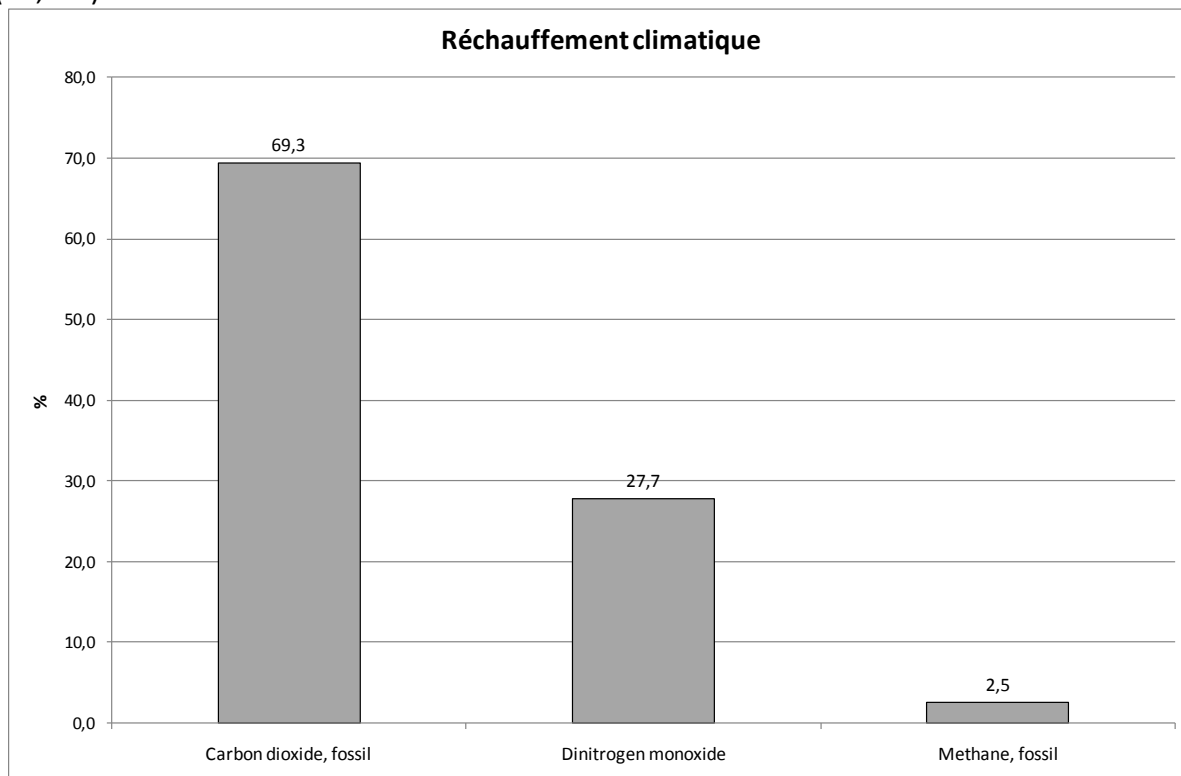


Figure 27 - Substances contribuant au réchauffement climatique, système SN, marché St Charles

Toxicité humaine

La valeur totale de la toxicité humaine, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 138,8 g 1,4-DB eq (Figure 28). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (70,1 %).

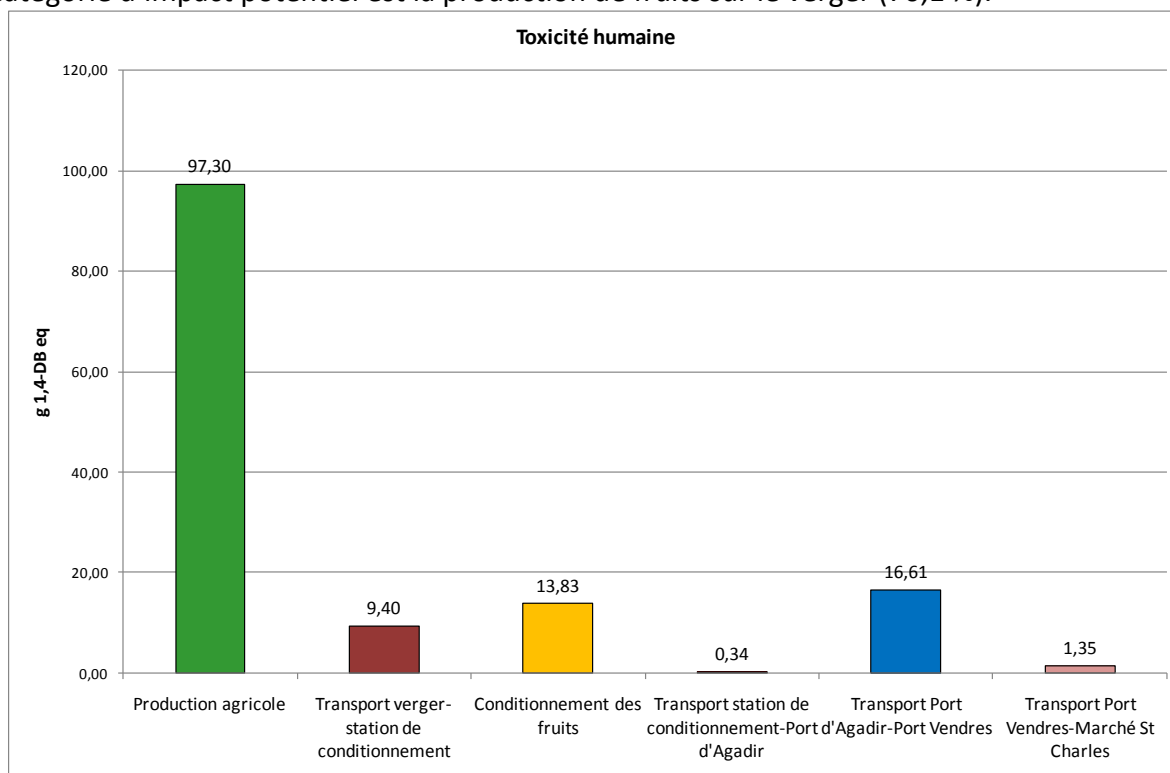


Figure 28 – Toxicité humaine, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la toxicité humaine, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 35,8 % de cet impact potentiel.

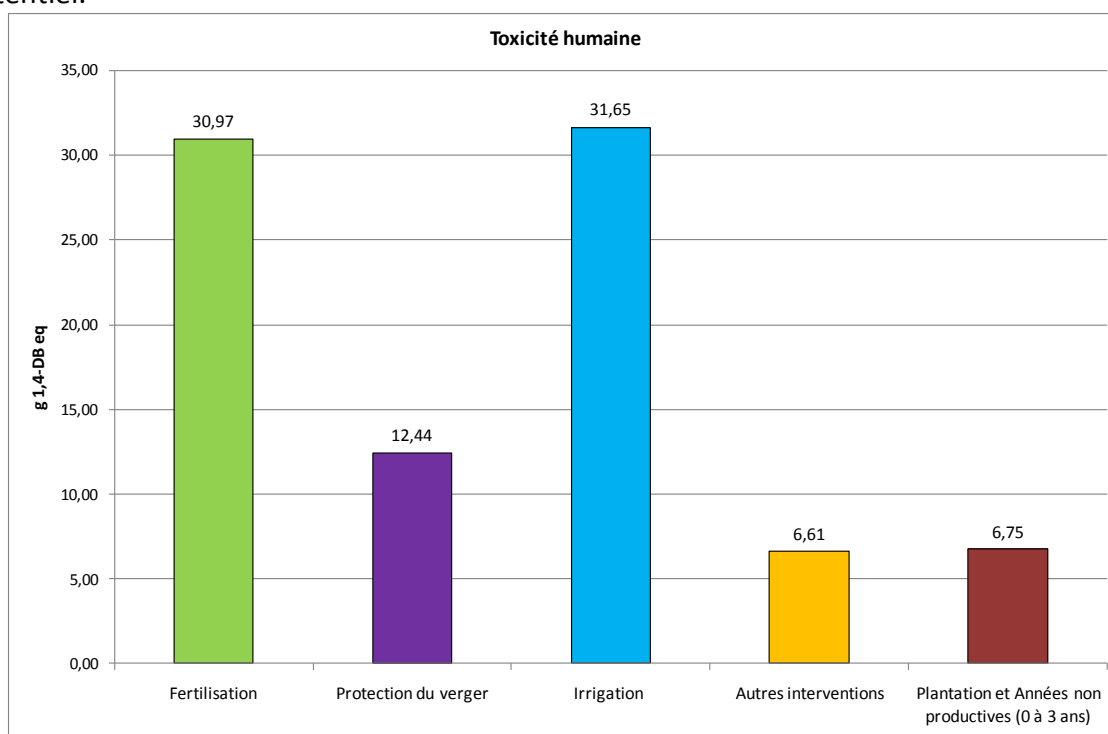


Figure 29 – Toxicité humaine, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à la toxicité humaine est : « *Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S* » pour 12,2 %.

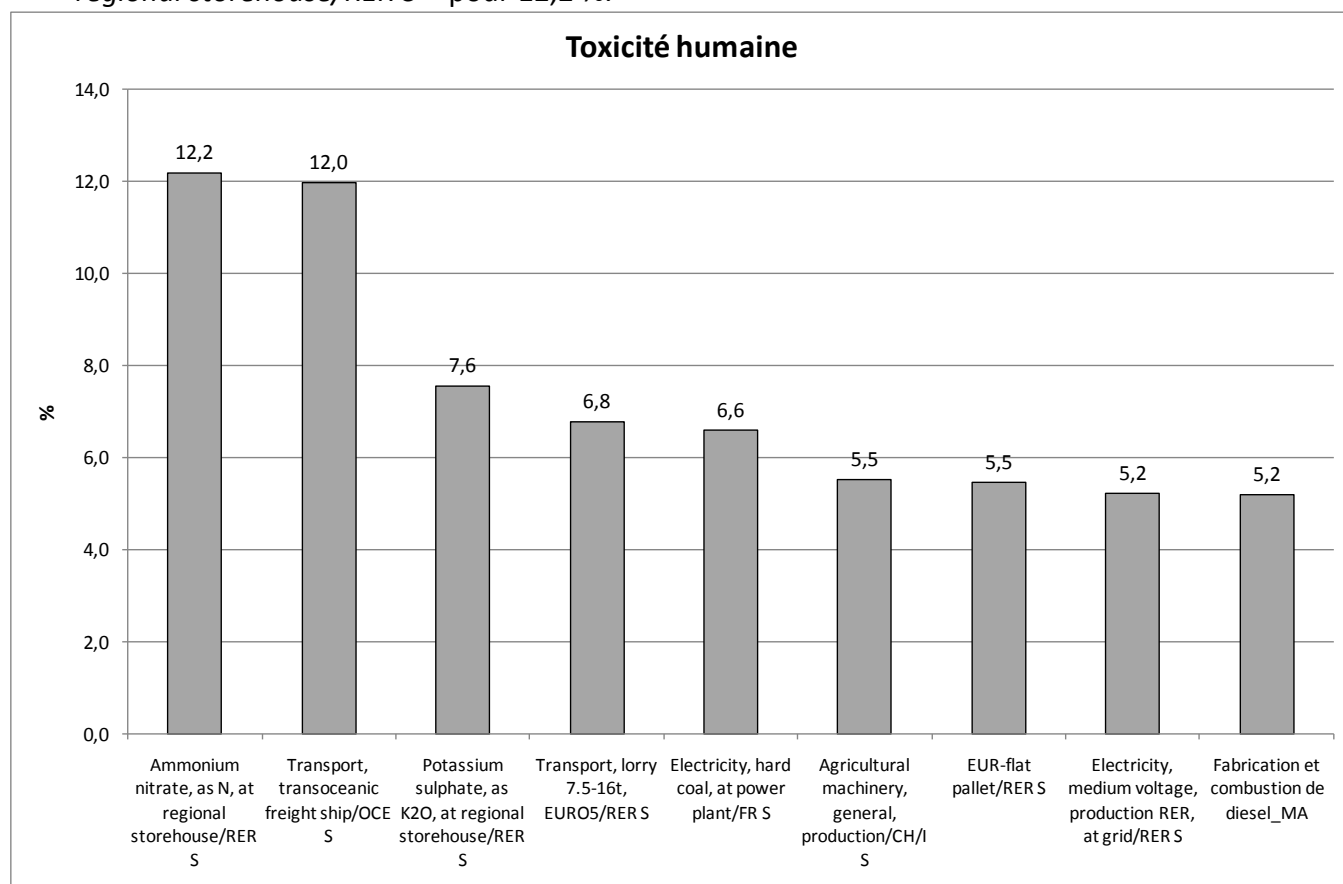


Figure 30 – Processus contribuant à la toxicité humaine, système SN, marché St Charles

Les substances qui contribuent le plus à la toxicité humaine sont les PAH (22,3 %).

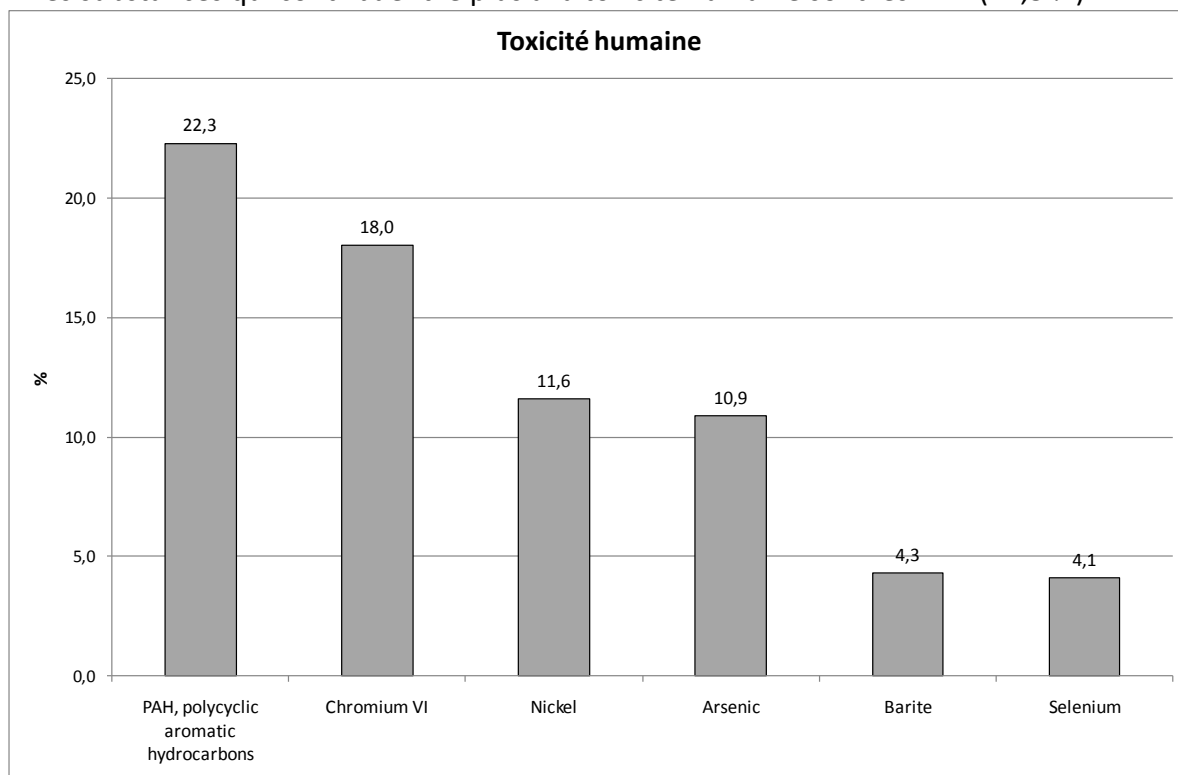


Figure 31 - Substances contribuant à la toxicité humaine, système SN, marché St Charles

Ecotoxicité aquatique des eaux douces

La valeur totale de l'écotoxicité aquatique des eaux douces, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 0,66 kg 1,4-DB eq (Figure 32). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (99,1 %).

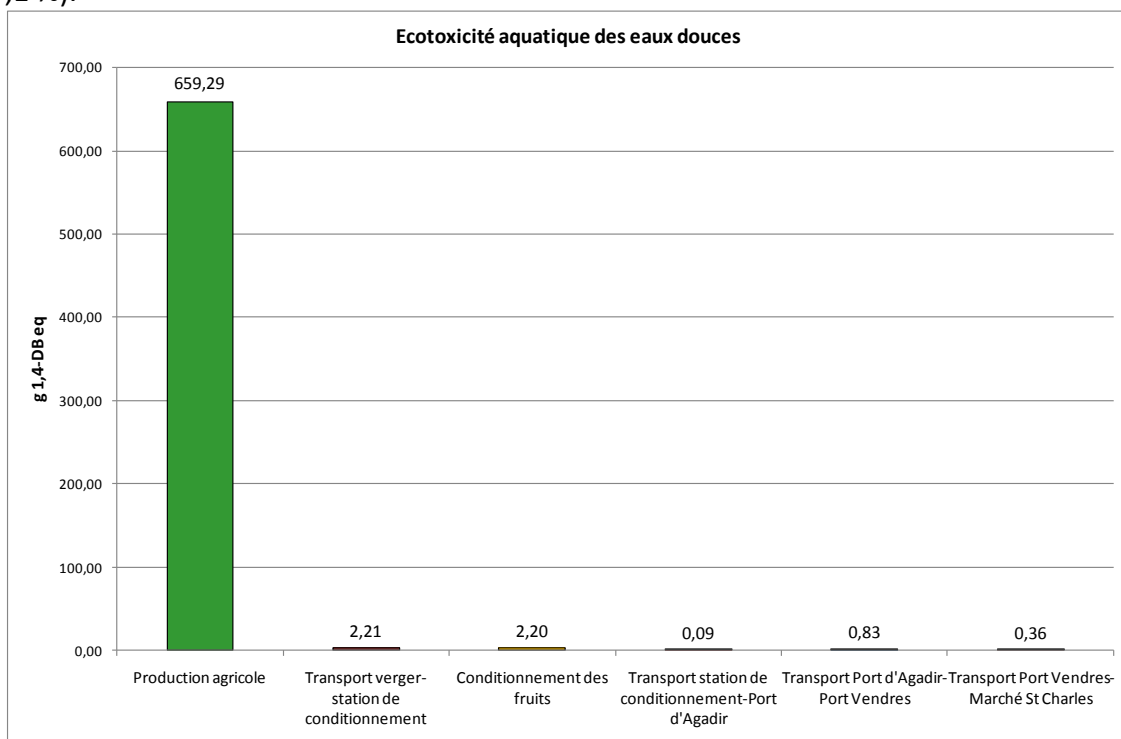


Figure 32 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'écotoxicité aquatique des eaux douces, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la protection du verger contribue à 48 % de cet impact potentiel.

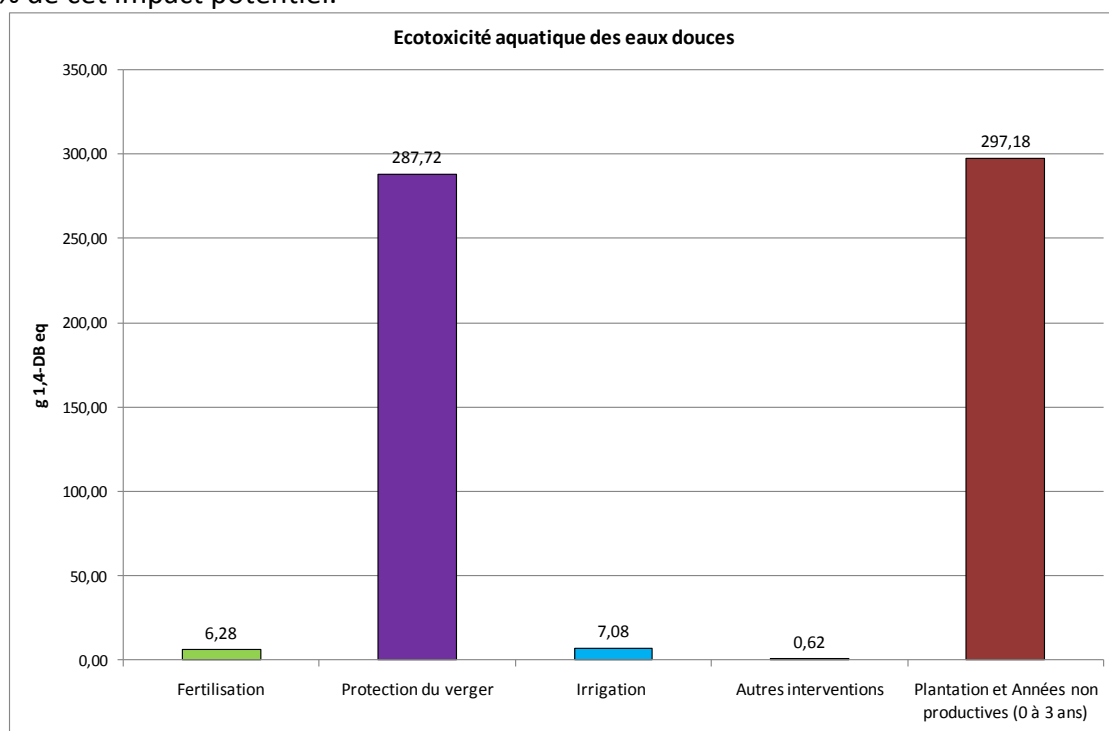


Figure 33 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à l'écotoxicité aquatique des eaux douces est : « 1-->5-Protection des cultures_SN » pour 81,6 %.

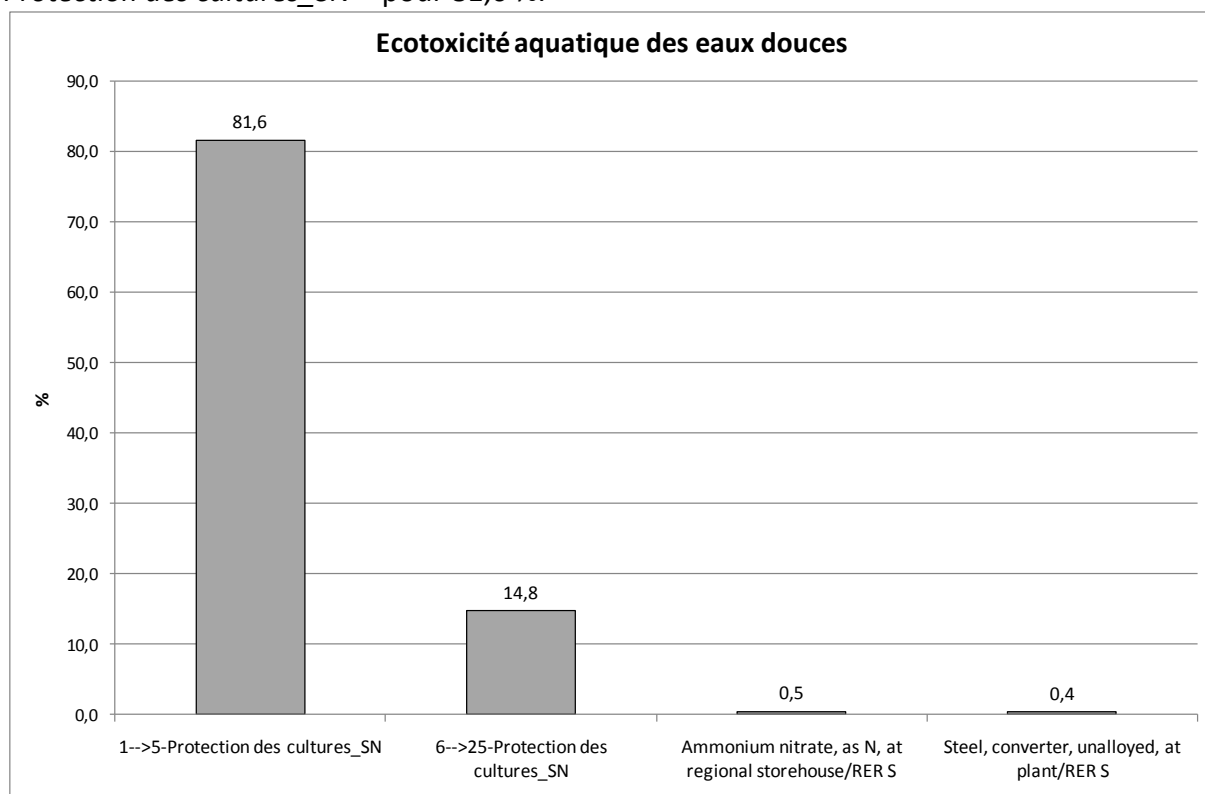


Figure 34 – Processus contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'écotoxicité aquatique des eaux douces est le méthomyl (81,6 %).

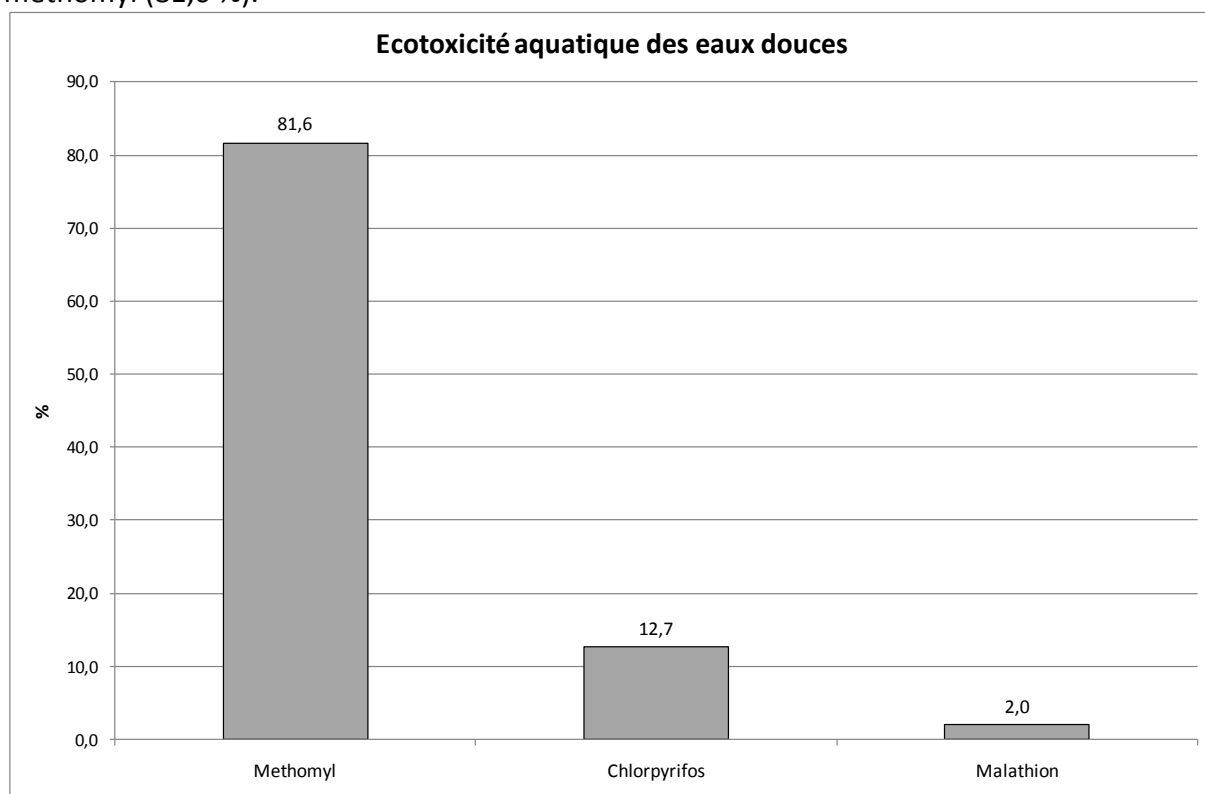


Figure 35 - Substances contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système SN, marché St Charles

Ecotoxicité terrestre

La valeur totale de l'écotoxicité terrestre, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 17,1 g 1,4-DB eq (Figure 36). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (98,1 %).

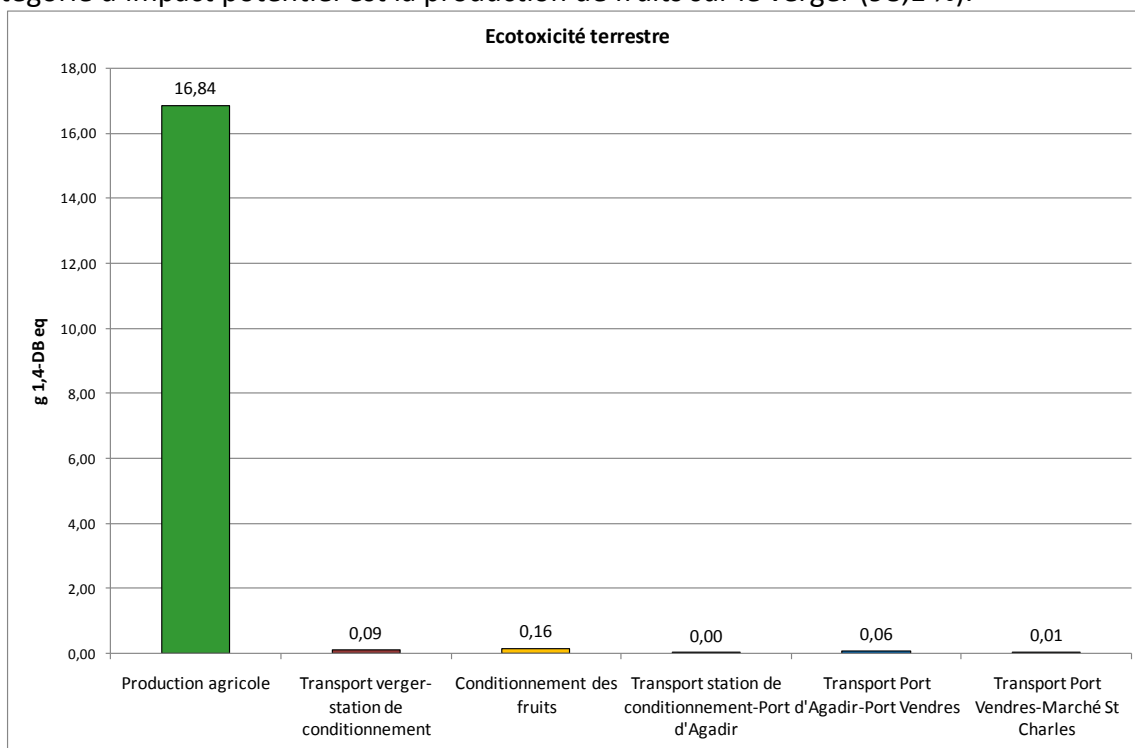


Figure 36 – Ecotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'écotoxicité terrestre, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la protection du verger contribue à 53 % de cet impact potentiel.

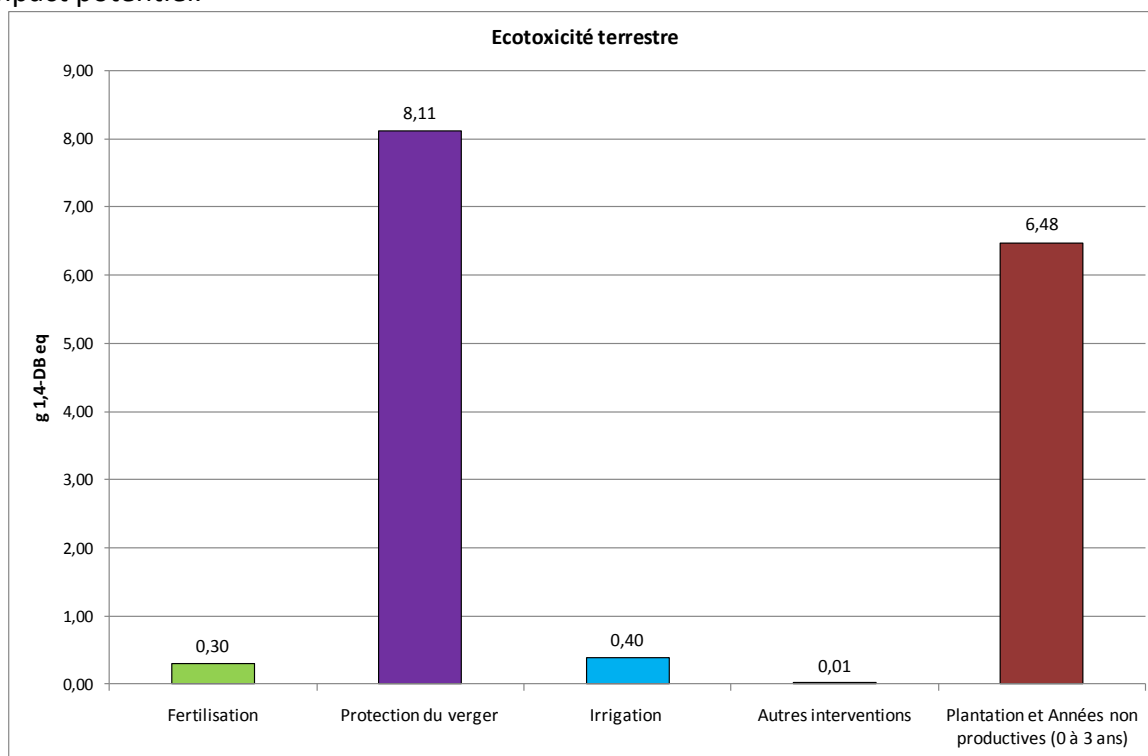


Figure 37 – Ecotoxicité terrestre, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à l'écotoxicité aquatique des eaux douces est : « 1-->5-Protection des cultures_SN » pour 68,5 %.

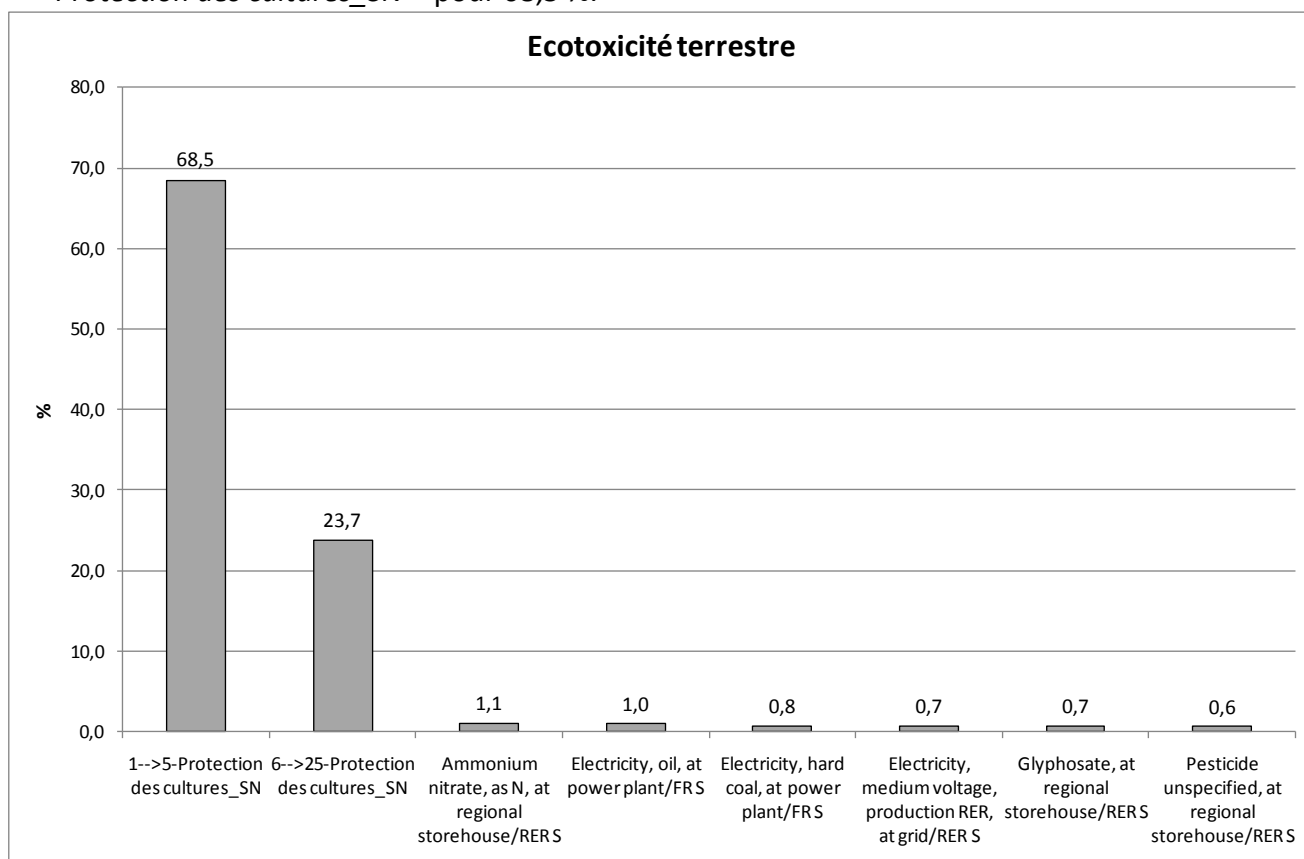


Figure 38 – Processus contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'écotoxicité terrestre est le methomyl (68,4 %).

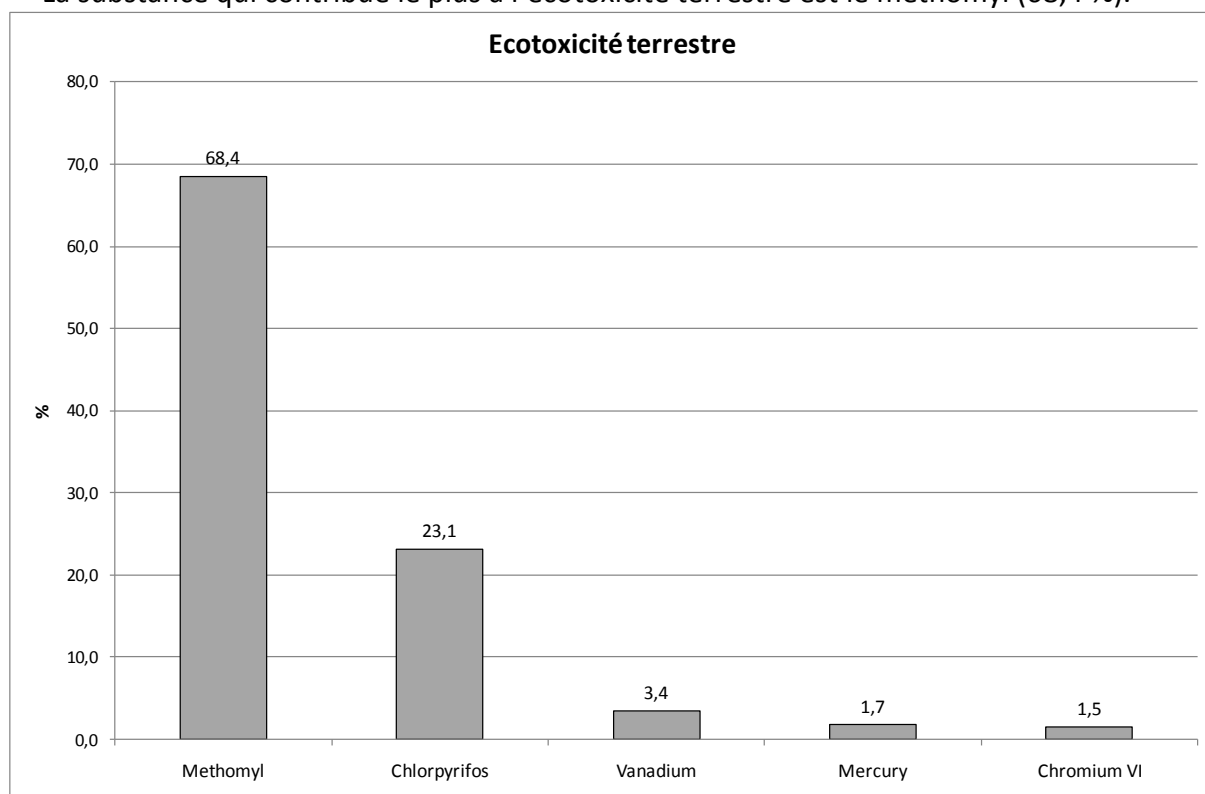


Figure 39 - Substances contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système SN, marché St Charles

Demande en eau

La valeur totale de demande en eau, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 3,03 m³ (Figure 40). Le stade qui contribue le plus à cette demande est la production de fruits sur le verger (91,3 %).

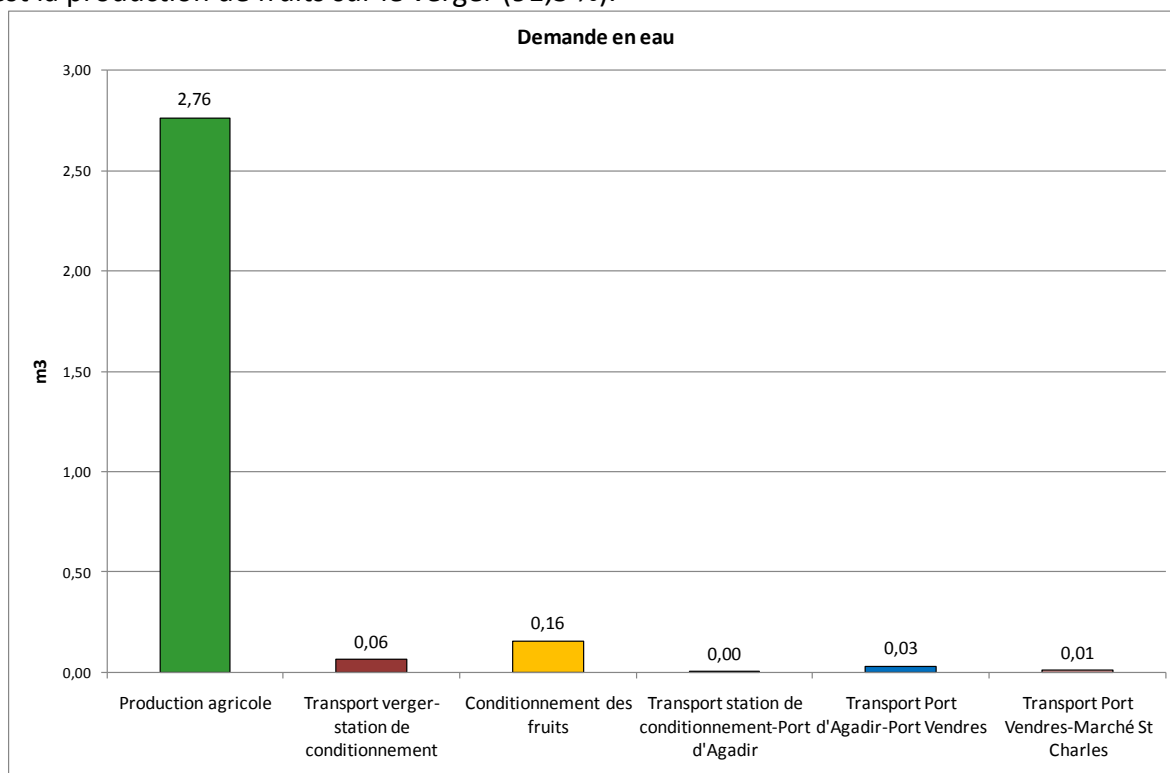


Figure 40 – Demande en eau, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la demande en eau, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation y contribue à 85,2 %.

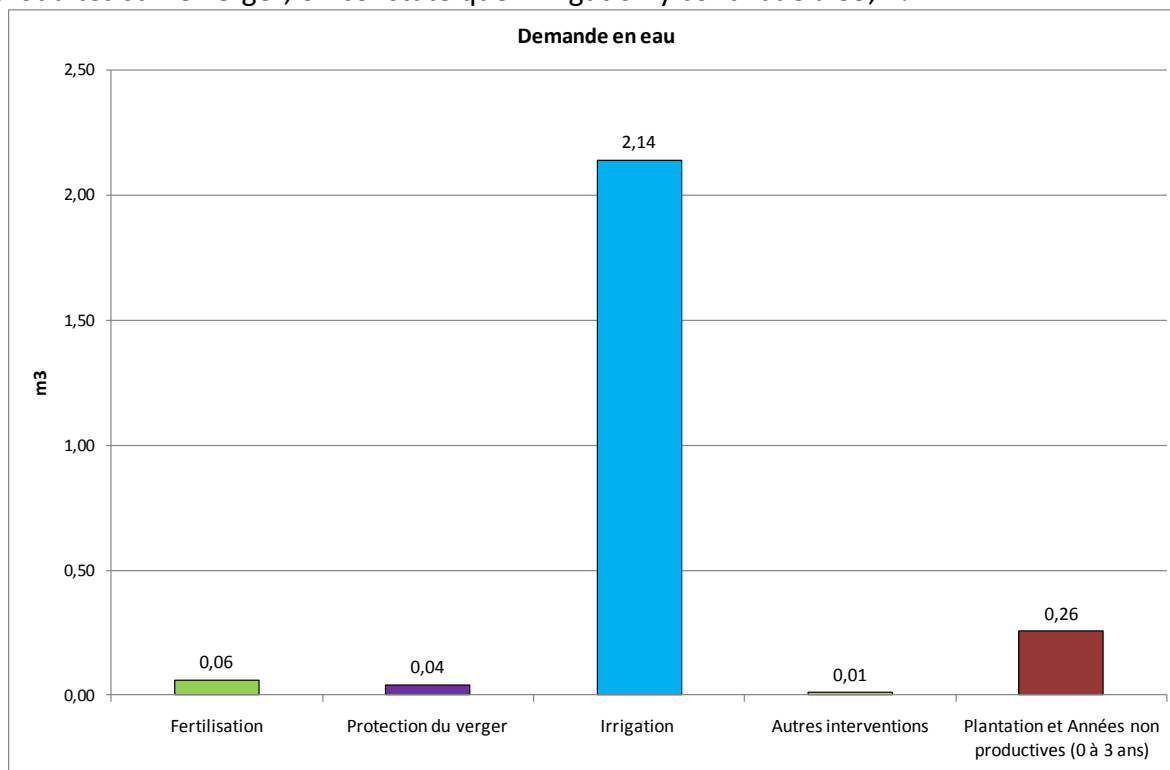


Figure 41 – Demande en eau, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à la demande en eau est : « *Electricity, hydropower, at power plant/FR S* » pour 63,6 %.

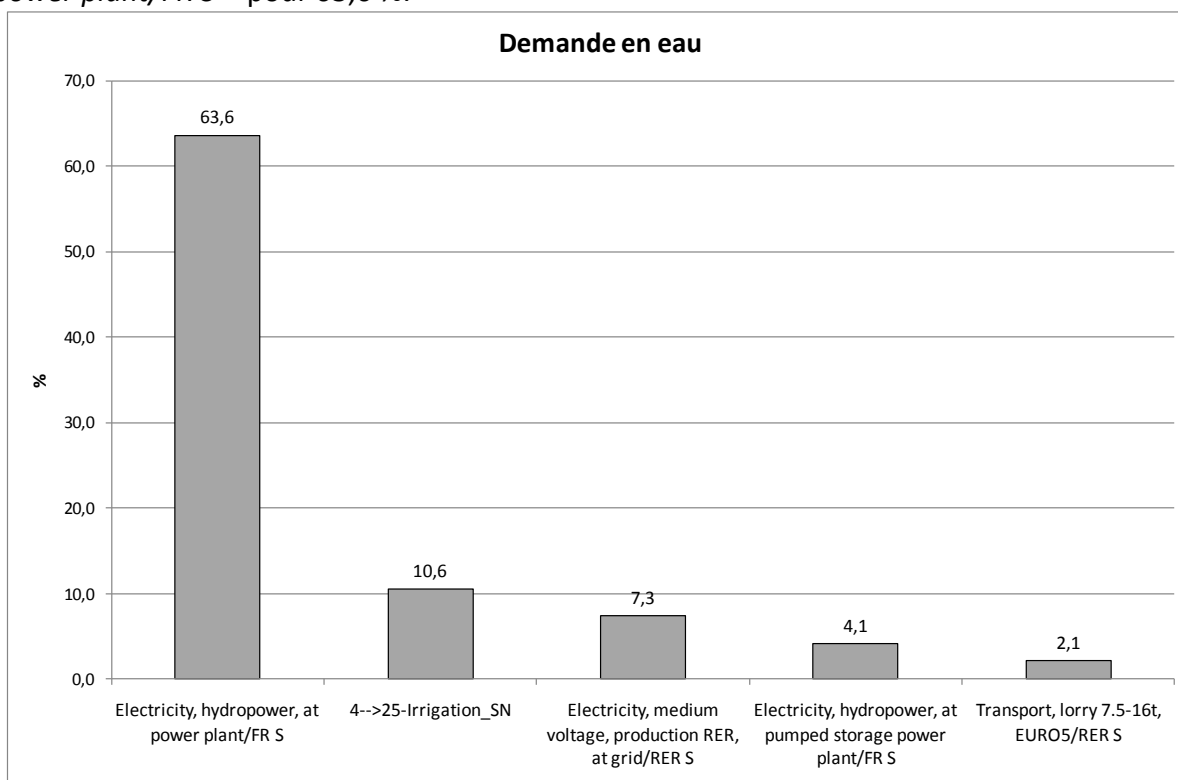


Figure 42 – Processus contribuant à la demande en eau, système SN, marché St Charles

Demande énergétique

La valeur totale de demande énergétique, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 5,5 MJ (Figure 43). Le stade qui contribue le plus à cette demande est la production de fruits sur le verger (66,3 %).

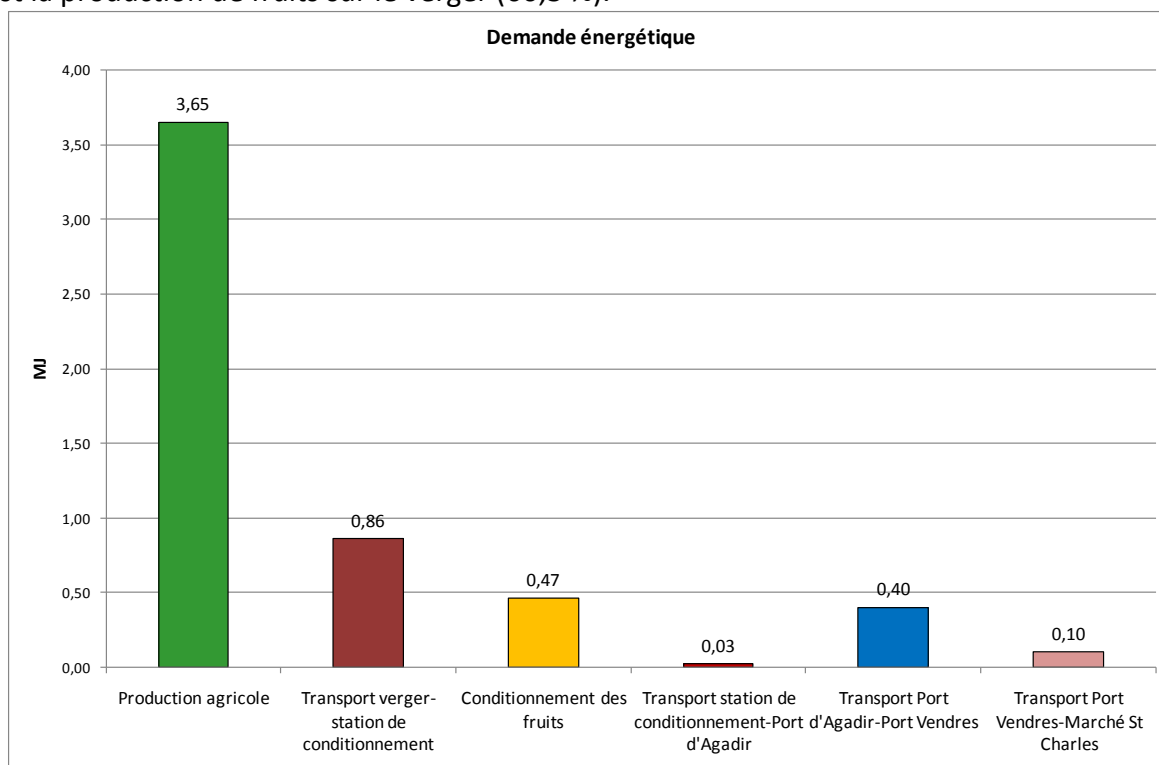


Figure 43 – Demande énergétique, système SN, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la demande en énergie, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation y contribue à 61 %.

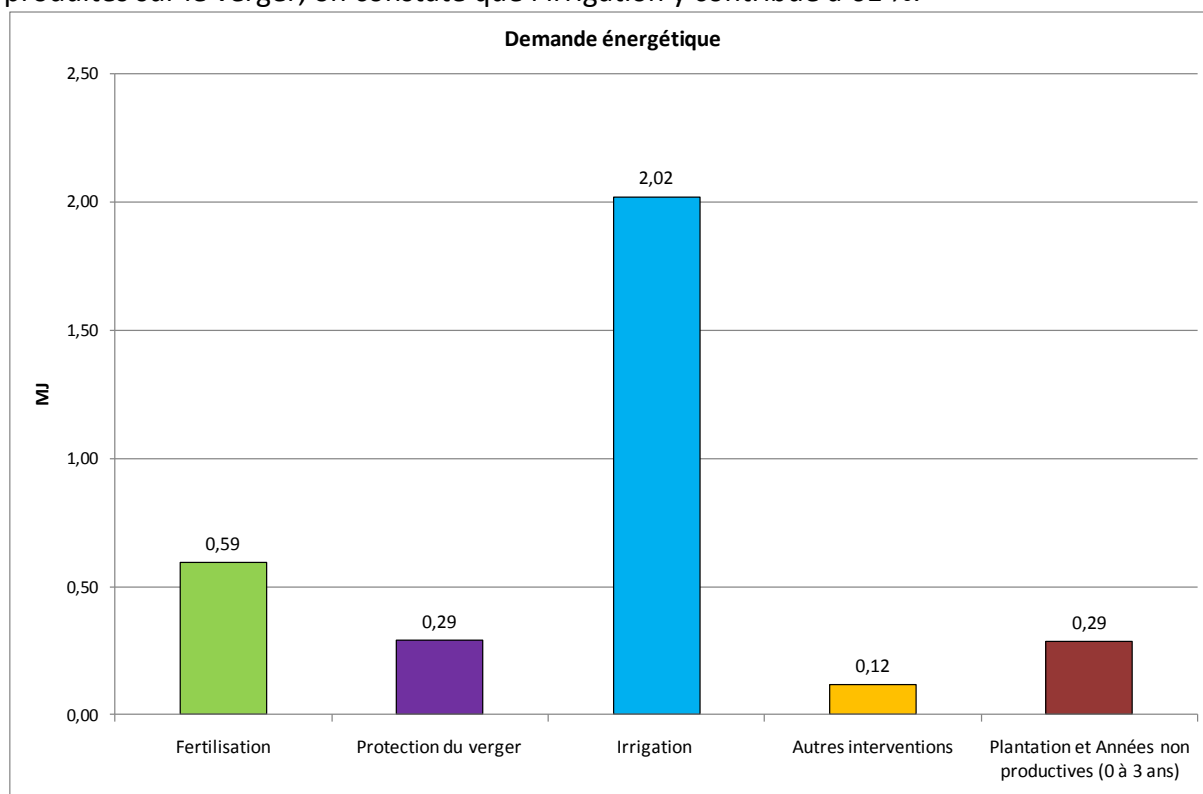


Figure 44 – Demande énergétique, système SN, verger

Le processus qui contribue le plus à la demande en énergie est : « *Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER S* » pour 15,6 %.

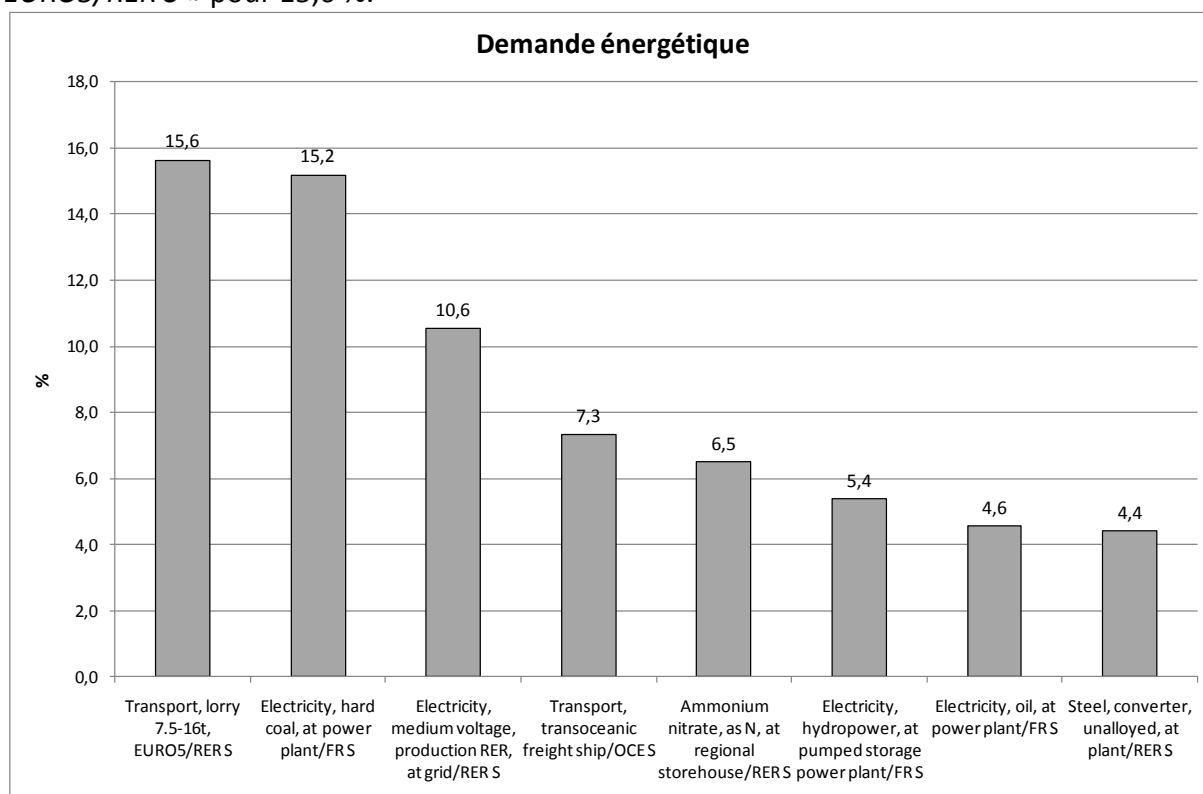


Figure 45 – Processus contribuant à la demande en énergie, système SN, marché St Charles

Résultats de la normalisation

Les résultats de la normalisation (Figures 46 et 47) permettent de présenter une hiérarchie des catégories d'impact potentiel. On constate alors que deux catégories contribuent de façon importante à l'activité de production de clémentines par rapport aux autres secteurs d'activité, qui sont par ordre d'importance : l'écotoxicité aquatique des eaux douces et l'écotoxicité terrestre. Au stade agricole, ce sont les mêmes catégories.

Dans le cadre d'une amélioration des pratiques visant à réduire les impacts environnementaux de la production de petits agrumes, la priorité d'action se ferait par rapport à ces deux catégories d'impact.

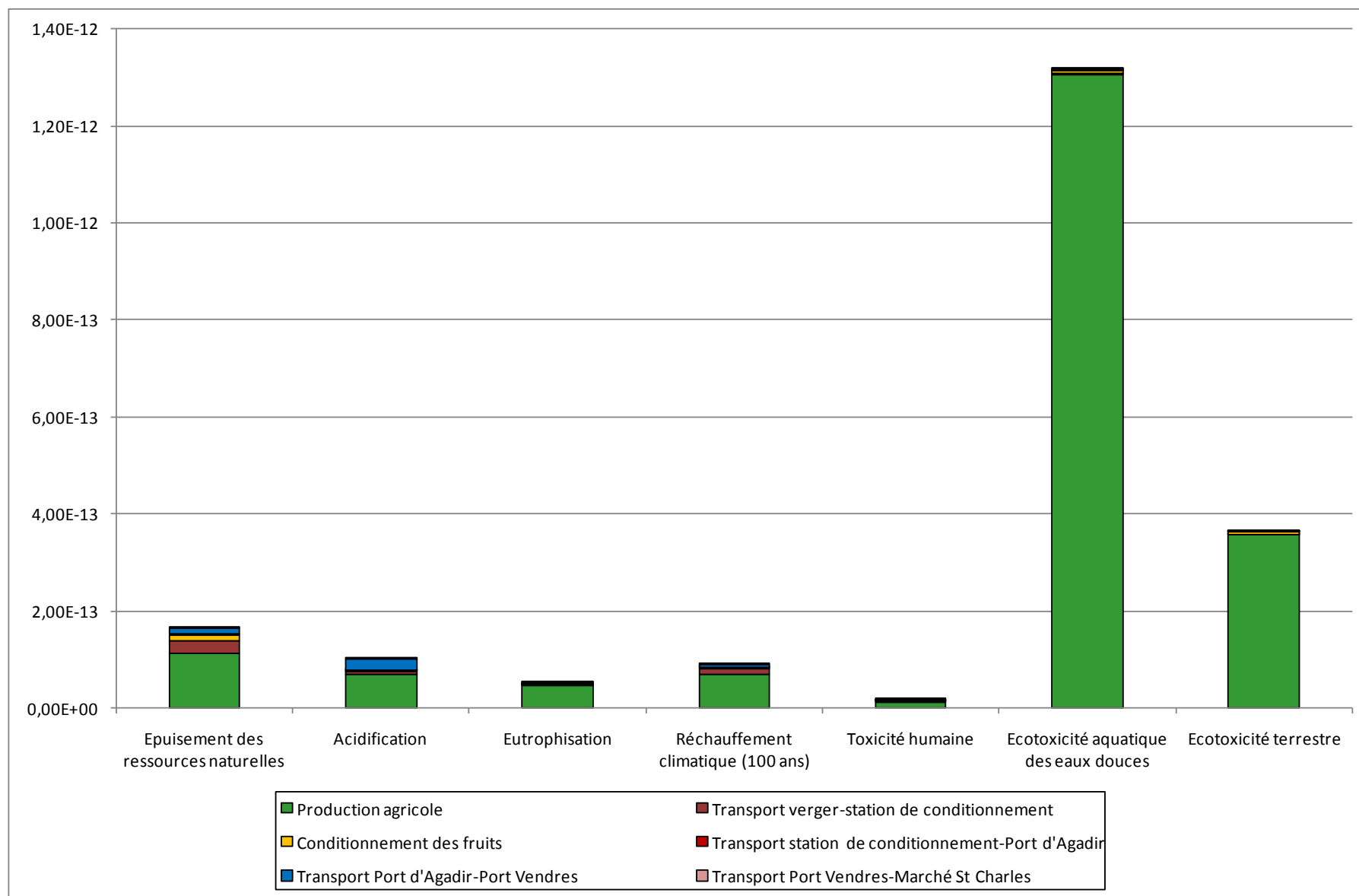


Figure 46 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995

Tableau 27 - Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995

Catégorie d'impact	Total	Production agricole	Transport verger-station de conditionnement	Conditionnement des fruits	Transport station de conditionnement-Port d'Agadir	Transport Port d'Agadir-Port Vendres	Transport Port Vendres-Marché St Charles
Epuisement des ressources naturelles	1,66E-13	1,13E-13	2,48E-14	1,29E-14	7,46E-16	1,16E-14	2,98E-15
Acidification	1,01E-13	6,95E-14	5,67E-15	3,87E-15	1,69E-16	2,07E-14	6,77E-16
Eutrophisation	5,31E-14	4,56E-14	2,41E-15	8,87E-16	7,36E-17	3,86E-15	2,94E-16
Réchauffement climatique (100 ans)	9,13E-14	6,92E-14	1,11E-14	4,06E-15	3,22E-16	5,36E-15	1,29E-15
Toxicité humaine	1,83E-14	1,28E-14	1,24E-15	1,83E-15	4,46E-17	2,19E-15	1,78E-16
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	1,32E-12	1,31E-12	4,38E-15	4,36E-15	1,76E-16	1,63E-15	7,03E-16
Ecotoxicité terrestre	3,64E-13	3,57E-13	1,88E-15	3,29E-15	6,98E-17	1,26E-15	2,79E-16

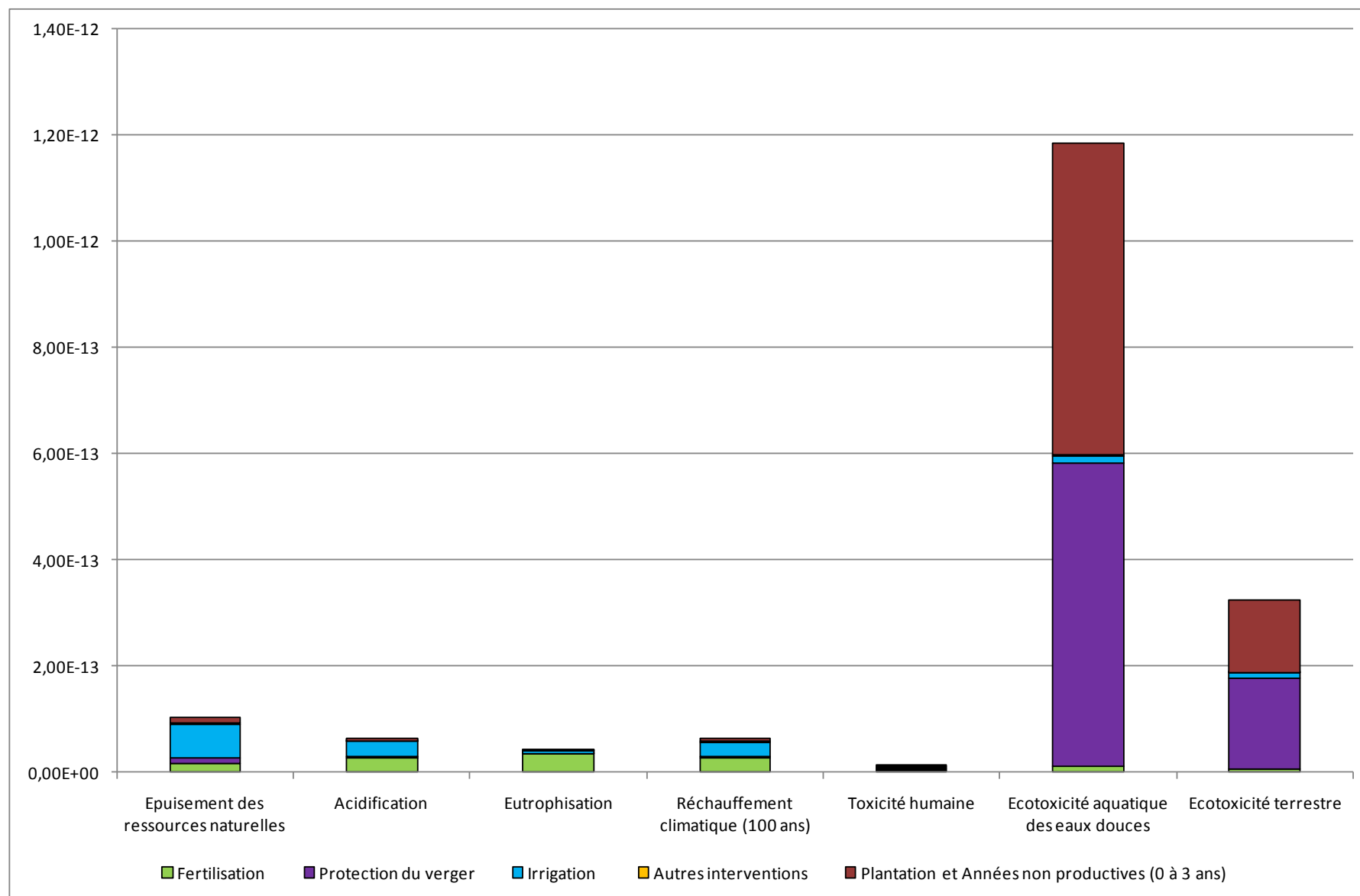


Figure 47 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger/West Europe 1995

Tableau 28 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Nour (système SN) au stade verger/West Europe 1995

Catégorie d'impact	Total	Fertilisation	Protection du verger	Irrigation	Autres interventions	Plantation et Années non productives (0 à 3 ans)
Epuisement des ressources naturelles	1,03E-13	1,77E-14	8,28E-15	6,45E-14	3,49E-15	9,03E-15
Acidification	6,31E-14	2,82E-14	2,15E-15	2,78E-14	6,38E-16	4,29E-15
Eutrophisation	4,14E-14	3,41E-14	4,28E-16	4,62E-15	1,87E-16	2,14E-15
Réchauffement climatique (100 ans)	6,29E-14	2,78E-14	2,80E-15	2,58E-14	1,58E-15	4,92E-15
Toxicité humaine	1,17E-14	4,09E-15	1,64E-15	4,18E-15	8,73E-16	8,92E-16
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	1,19E-12	1,24E-14	5,70E-13	1,40E-14	1,23E-15	5,88E-13
Ecotoxicité terrestre	3,24E-13	6,32E-15	1,72E-13	8,41E-15	2,42E-16	1,37E-13

6.2. Résultats pour le système OC (Oriental)

Les résultats d'impacts potentiels sur l'environnement pour la mise à disposition du marché français d'un kilogramme de clémentines marocaines sont présentés sur la Figure 48 et dans le Tableau 29. Les impacts liés au stade de production agricole sont présentés sur la Figure 49 et dans le Tableau 30.

Par la suite, les résultats de chaque catégorie d'impact potentiel (épuisement des ressources naturelles, acidification, etc.) seront présentés en détails de la manière suivante :

- Analyse de contribution d'un kilogramme de clémentines Cadoux rendu à la porte du marché St Charles
- Analyse de contribution d'un kg de Cadoux à la sortie du verger
- Analyse de contribution des principaux processus
- Analyse de contribution des principales substances

On rappelle que chaque résultat est exprimé par unité fonctionnelle.

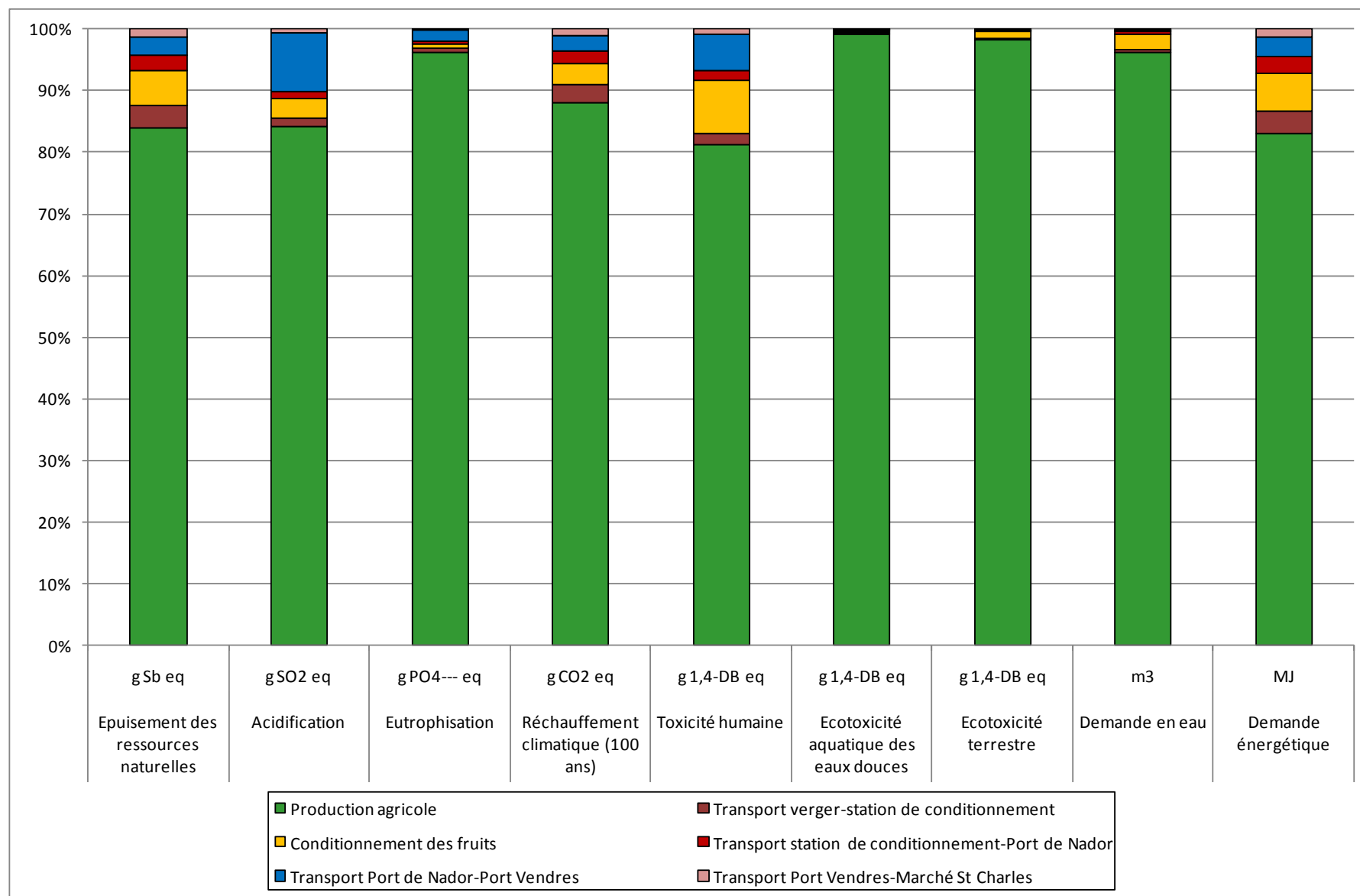


Figure 48 – Analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)

Tableau 29 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)

Catégorie d'impact	Unité	Total	Production agricole	Transport verger-station de conditionnement	Conditionnement des fruits	Transport station de conditionnement-Port de Nador	Transport Port de Nador-Port Vendres	Transport Port Vendres-Marché St Charles
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	3,42	2,87	0,12	0,19	0,09	0,10	0,04
Acidification	g SO2 eq	3,42	2,88	0,05	0,11	0,04	0,33	0,02
Eutrophisation	g PO4--- eq	1,63	1,57	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	589,00	518,15	17,75	19,50	12,38	15,03	6,19
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	162,93	132,22	3,13	13,83	2,70	9,69	1,35
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	528,59	524,10	0,74	2,20	0,71	0,48	0,36
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	15,14	14,88	0,03	0,16	0,03	0,03	0,01
Demande en eau	m3	5,85	5,62	0,02	0,16	0,02	0,02	0,01
Demande énergétique	MJ	7,63	6,34	0,29	0,47	0,21	0,23	0,10

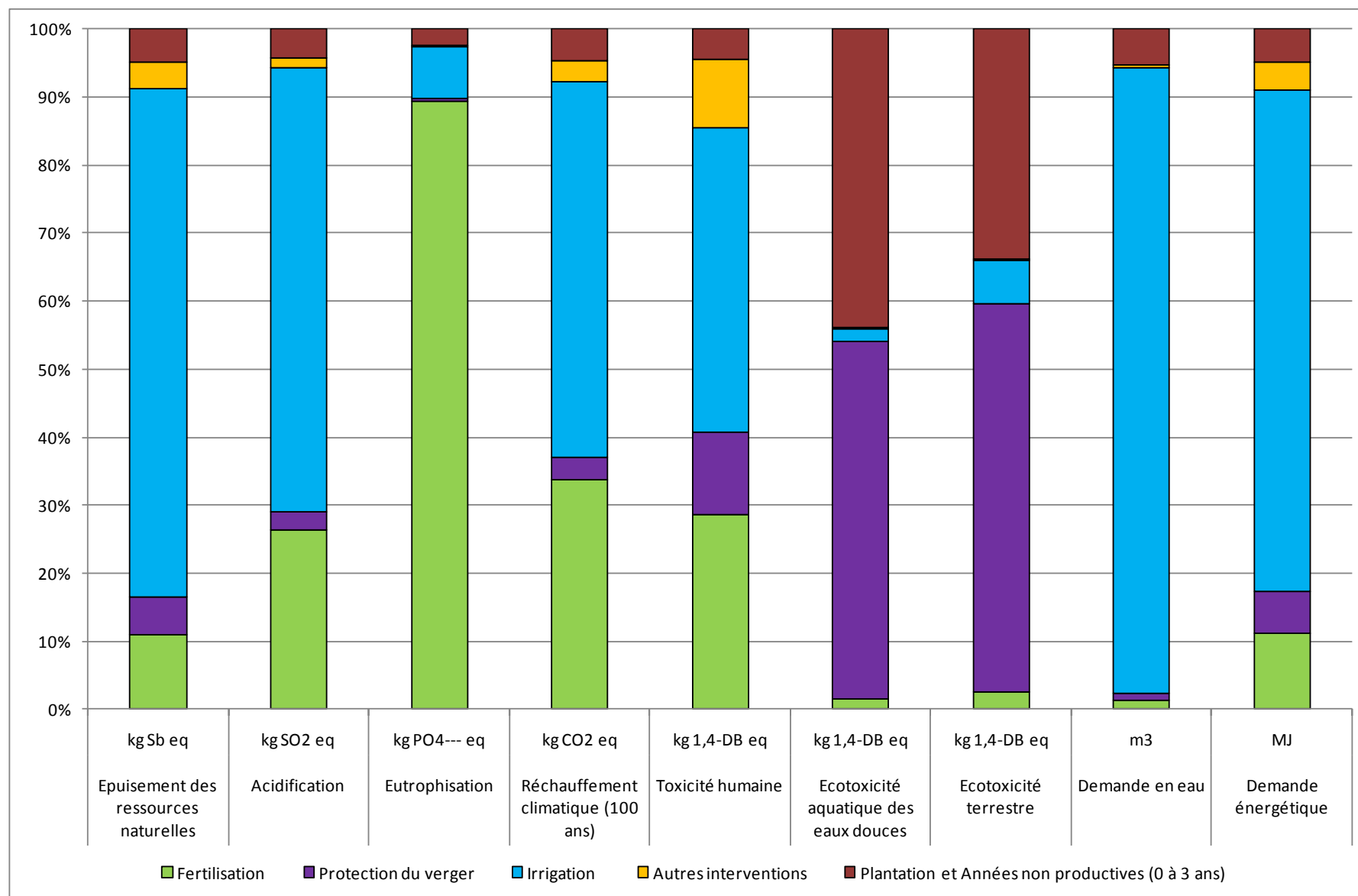


Figure 49 - Analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger

Tableau 30 - Résultats chiffrés de l'analyse de contribution d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger

Catégorie d'impact	Unité	Total	Fertilisation	Protection du verger	Irrigation	Autres interventions	Plantation et Années non productives (0 à 3 ans)
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	2,61	0,28	0,15	1,95	0,10	0,13
Acidification	g SO2 eq	2,62	0,69	0,07	1,71	0,03	0,11
Eutrophisation	g PO4--- eq	1,42	1,27	0,01	0,11	0,00	0,03
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	470,66	158,36	16,08	259,38	15,08	21,76
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	120,10	34,35	14,68	53,68	12,01	5,39
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	476,17	7,01	250,34	8,95	0,96	208,91
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	13,52	0,34	7,73	0,86	0,02	4,57
Demande en eau	m3	5,11	0,07	0,05	4,70	0,02	0,27
Demande énergétique	MJ	5,76	0,64	0,35	4,25	0,23	0,28

Épuisement des ressources naturelles

La valeur totale de l'épuisement des ressources naturelles, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 3,42 g Sb eq (Figure 50). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (84 %).

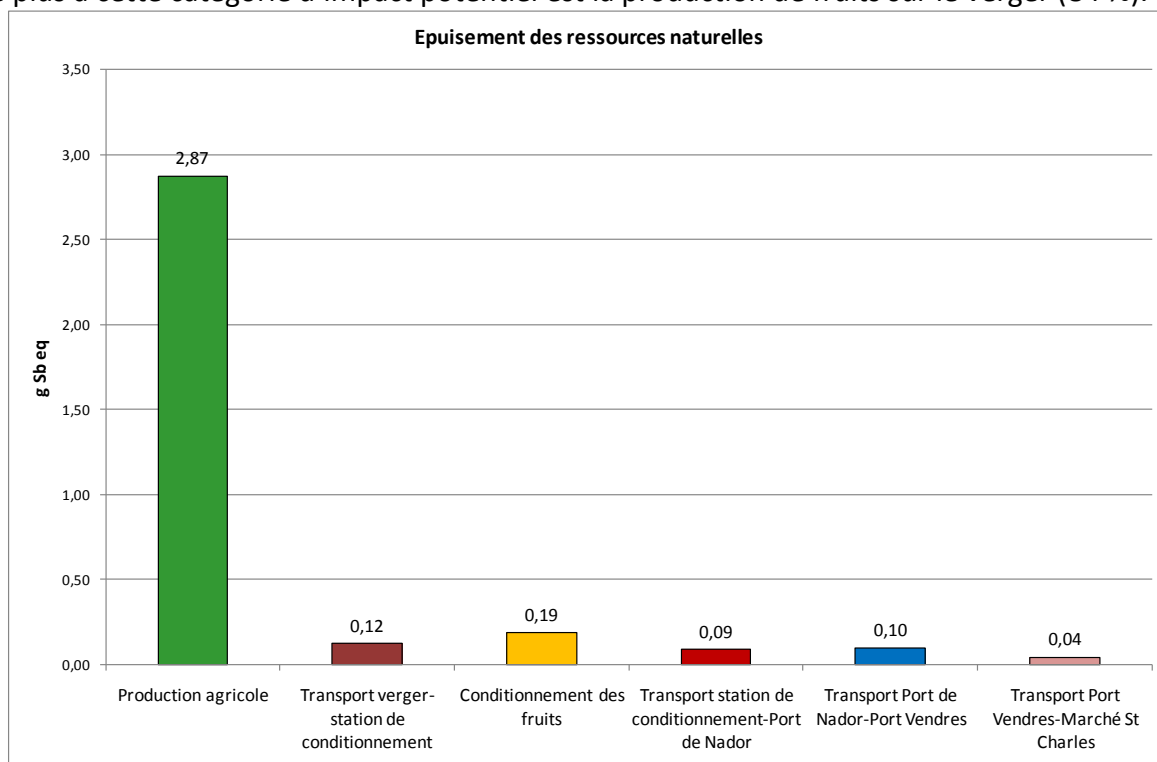


Figure 50 – Épuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'épuisement des ressources naturelles, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 74,7 % de cet impact potentiel.

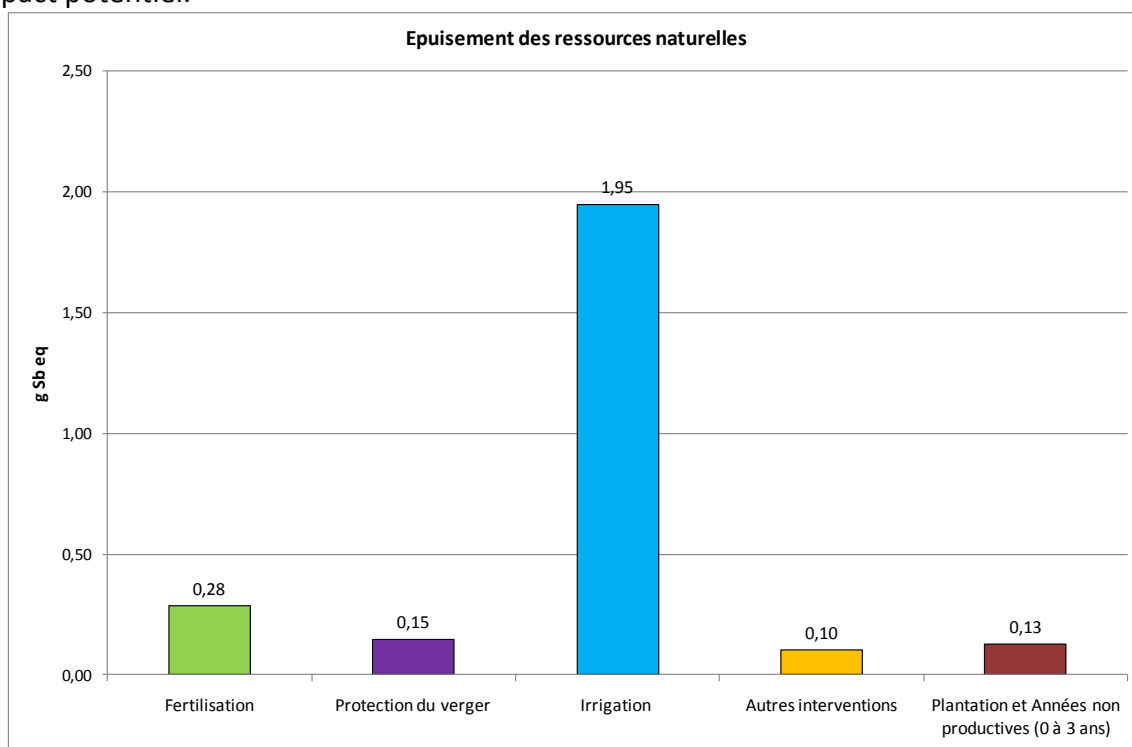


Figure 51 - Épuisement des ressources naturelles, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à l'épuisement des ressources naturelles est :
« Electricity, hard coal, at power plant/FR S » pour 37,3 %.

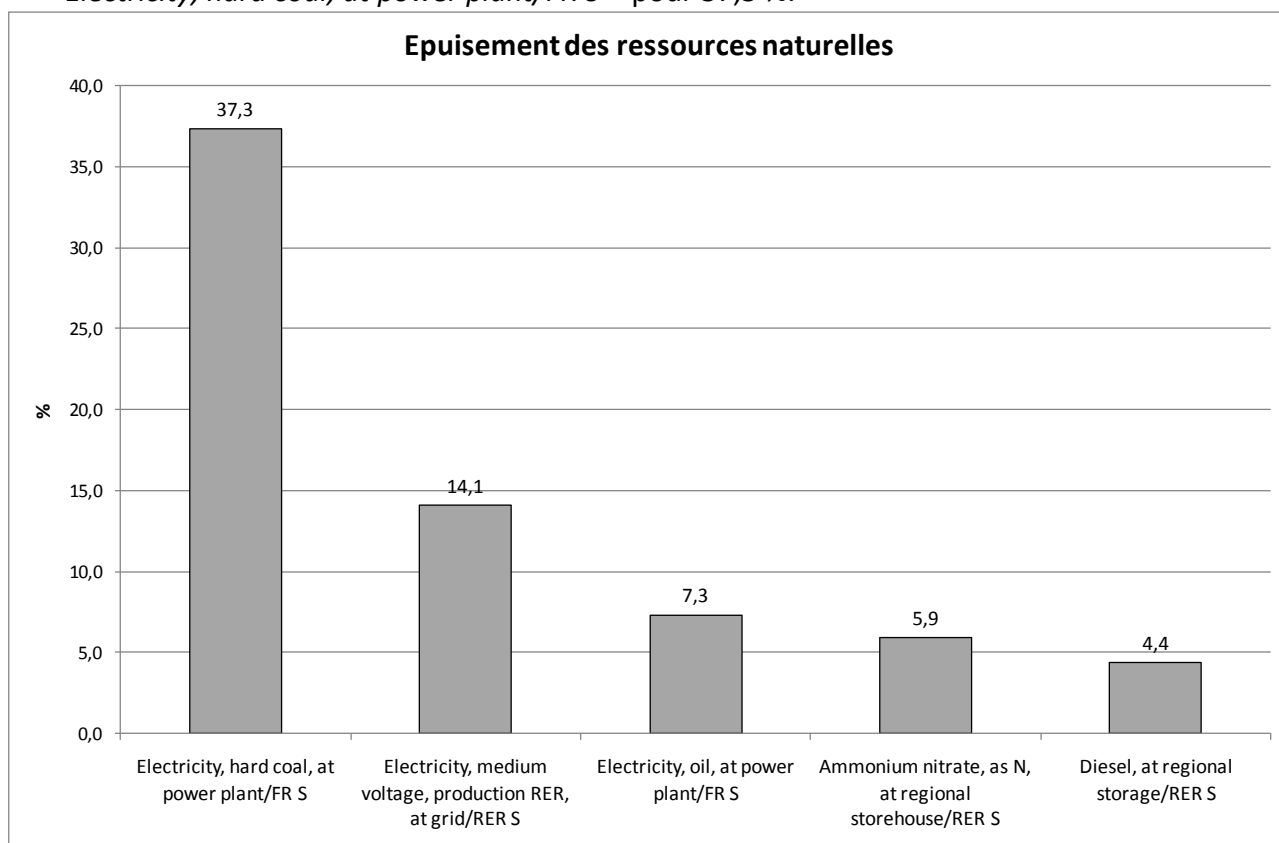


Figure 52 – Processus contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'épuisement des ressources naturelles est le charbon (44,2 %).

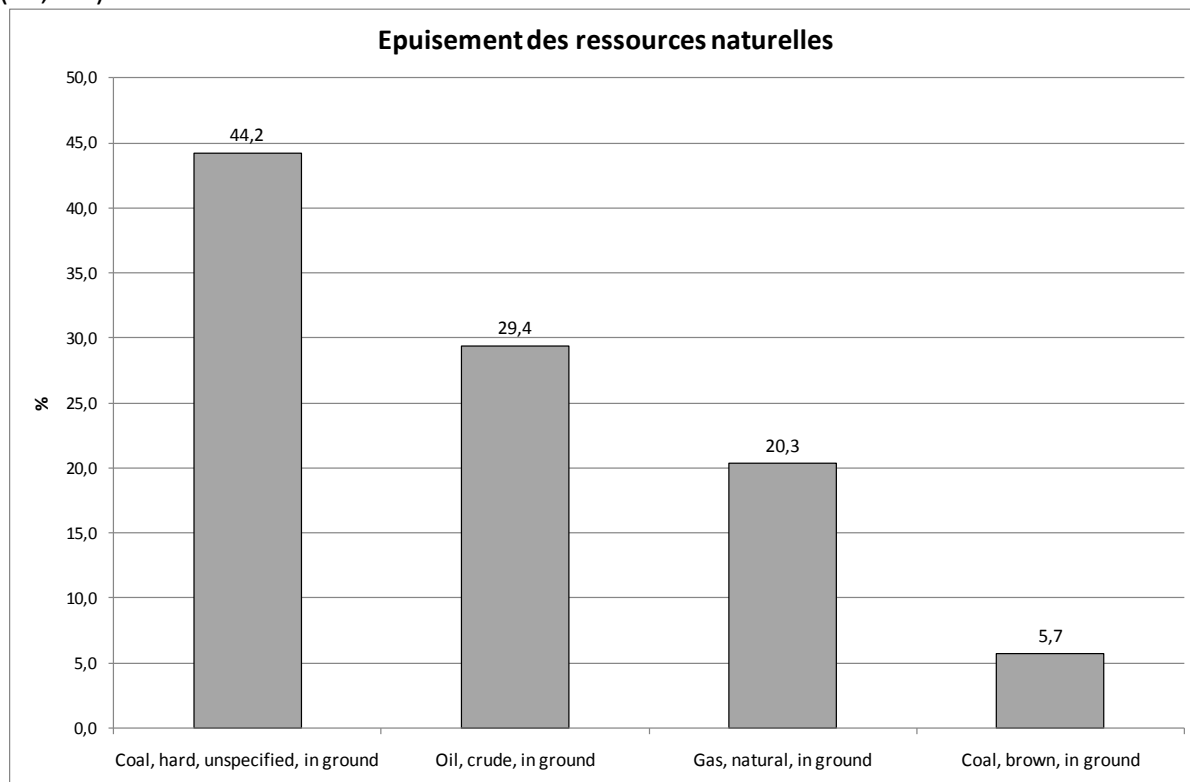


Figure 53 – Substances contribuant à l'épuisement des ressources naturelles, système OC, marché St Charles

Acidification

La valeur totale de l'acidification, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 3,42 g SO₂ eq (Figure 54). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (84,1 %).

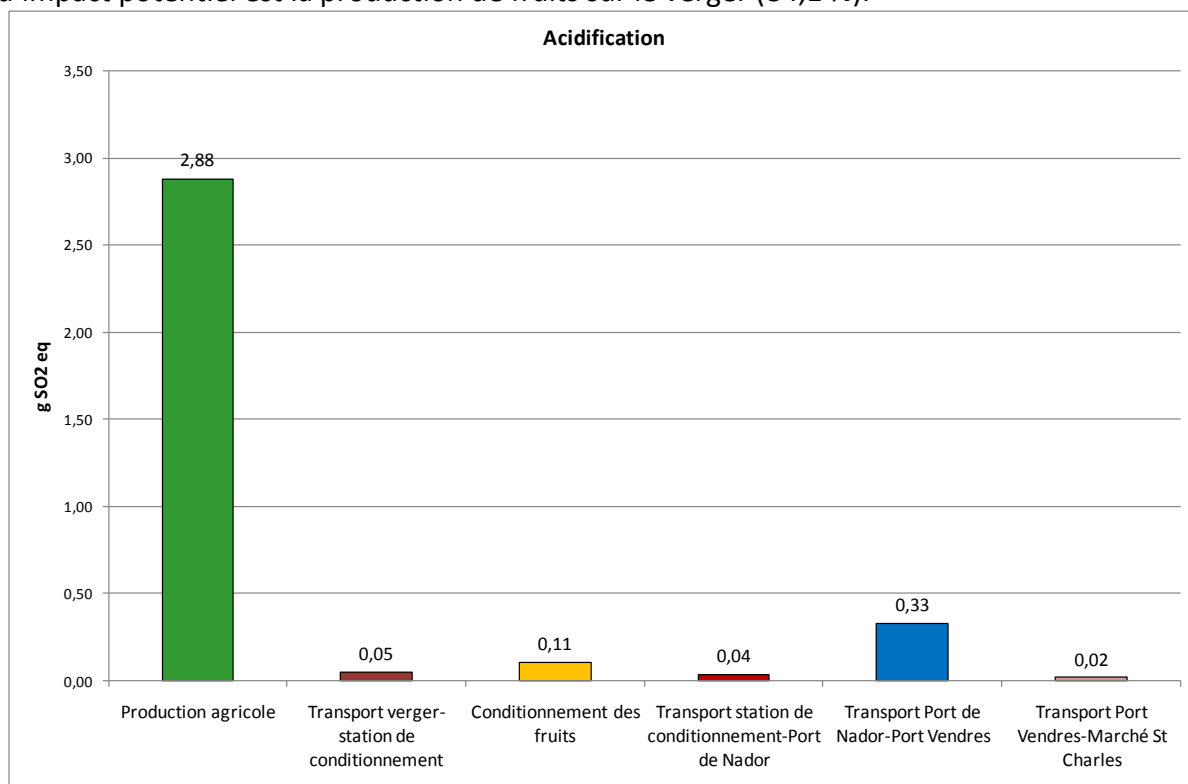


Figure 54 – Acidification, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'acidification, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 65,3 % de cet impact potentiel.

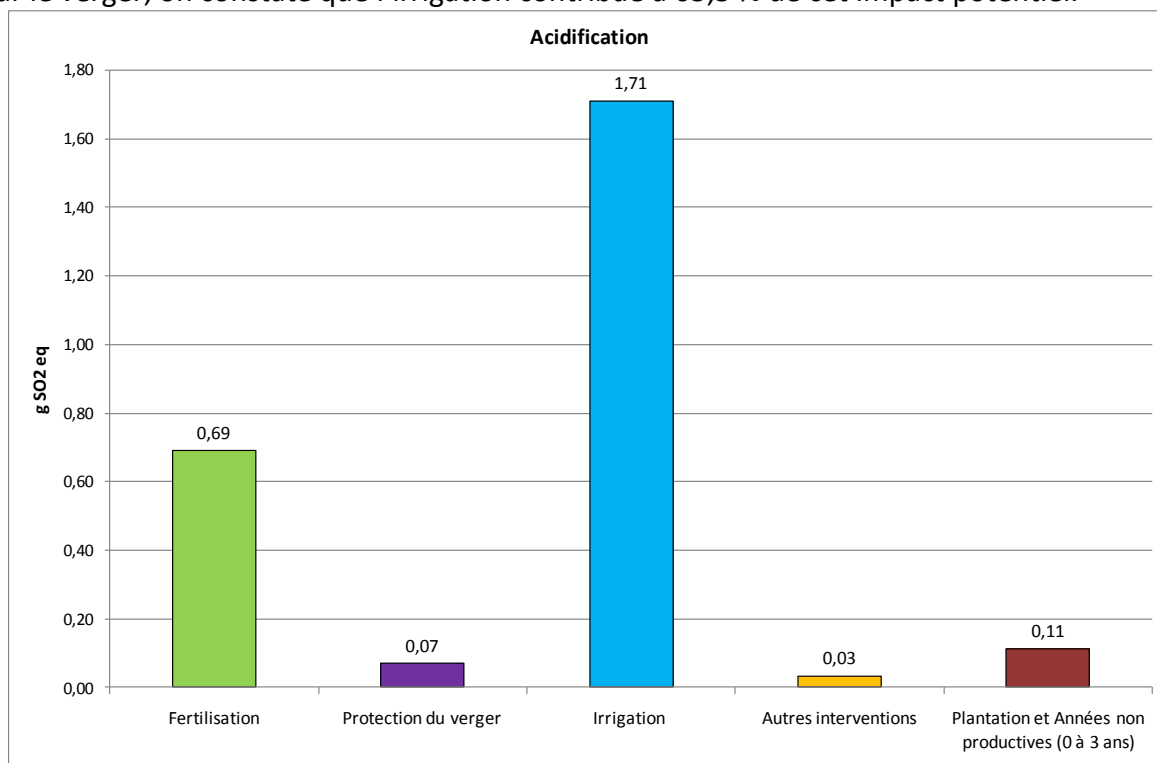


Figure 55 – Acidification, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à l'acidification est : « *Electricity, hard coal, at power plant/FR S* » pour 36,8 %.

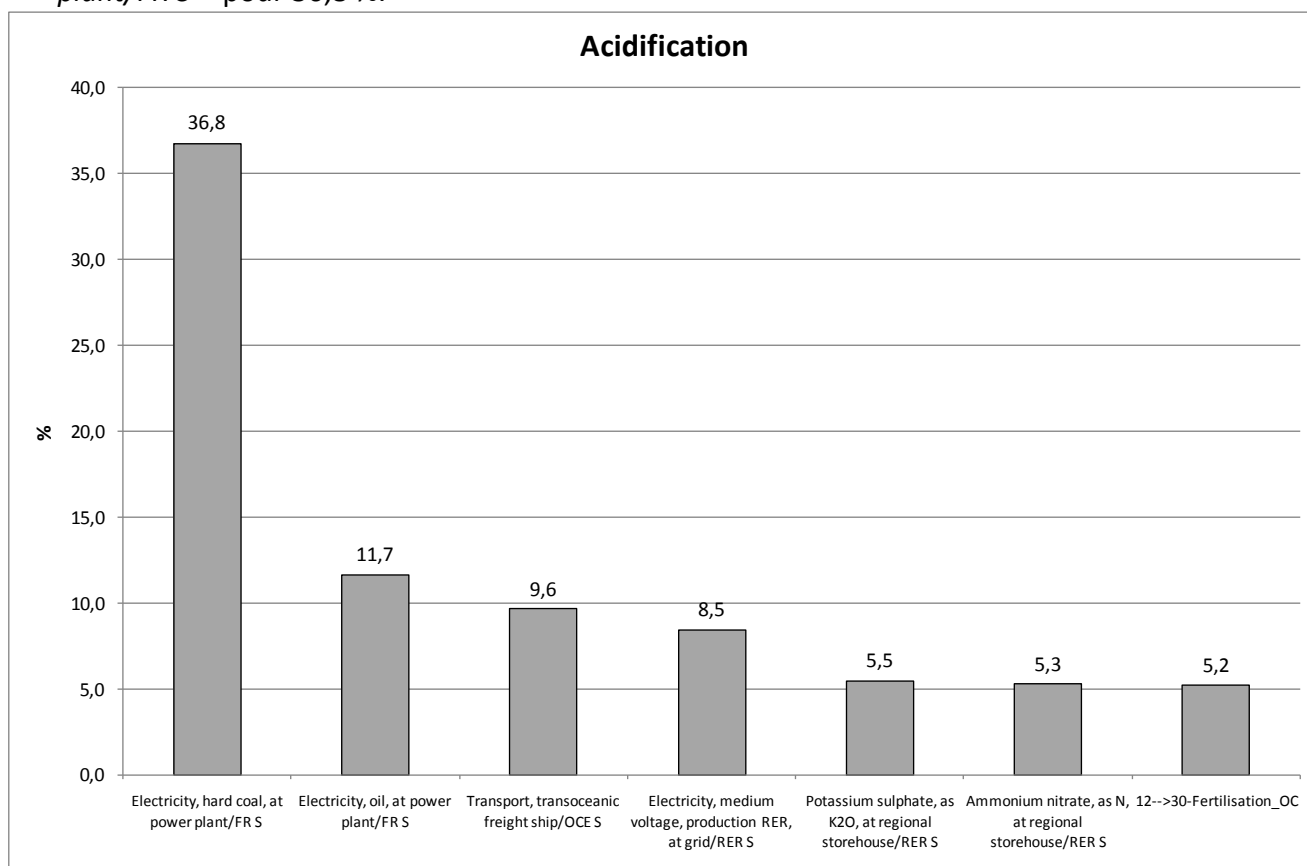


Figure 56 – Processus contribuant à l'acidification, système OC, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'acidification est le dioxyde de soufre (67,1 %).

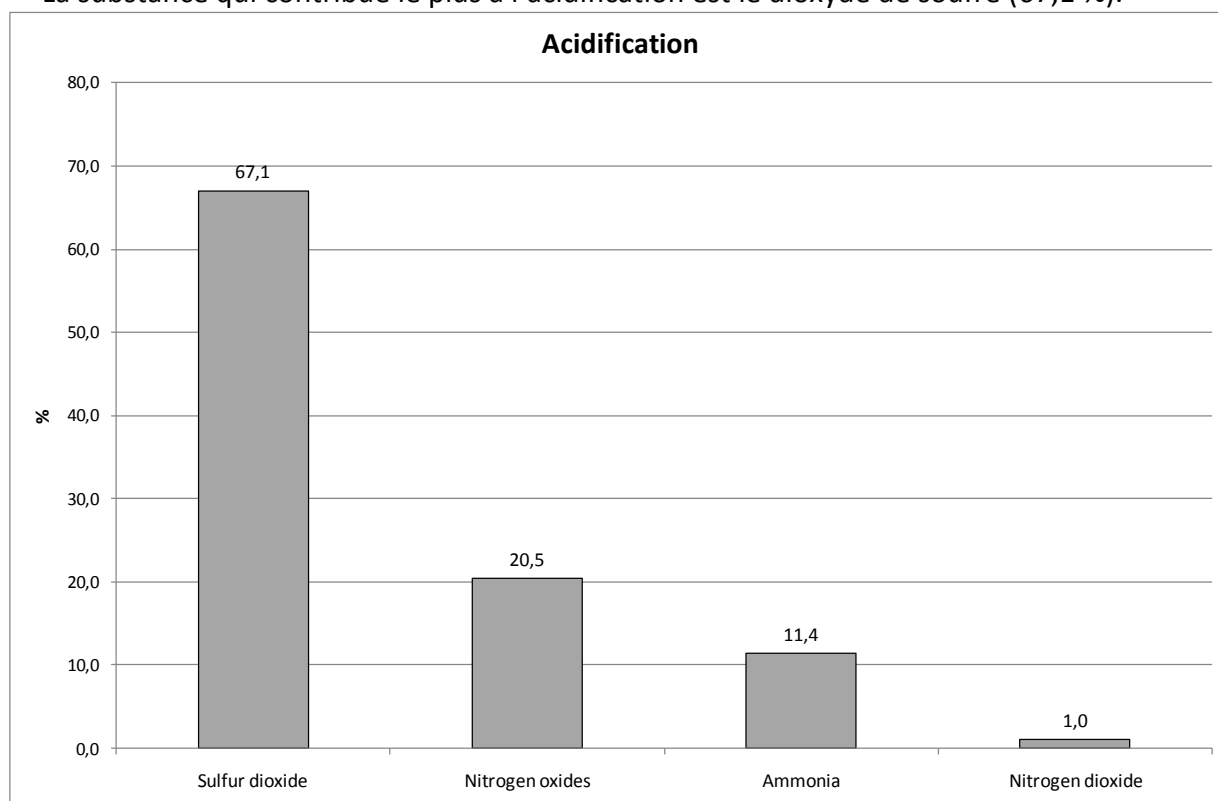


Figure 57 - Substances contribuant à l'acidification, système OC, marché St Charles

Eutrophisation

La valeur totale de l'eutrophisation, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 1,63 g PO_4^{3-} eq (Figure 58). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (96,3 %).

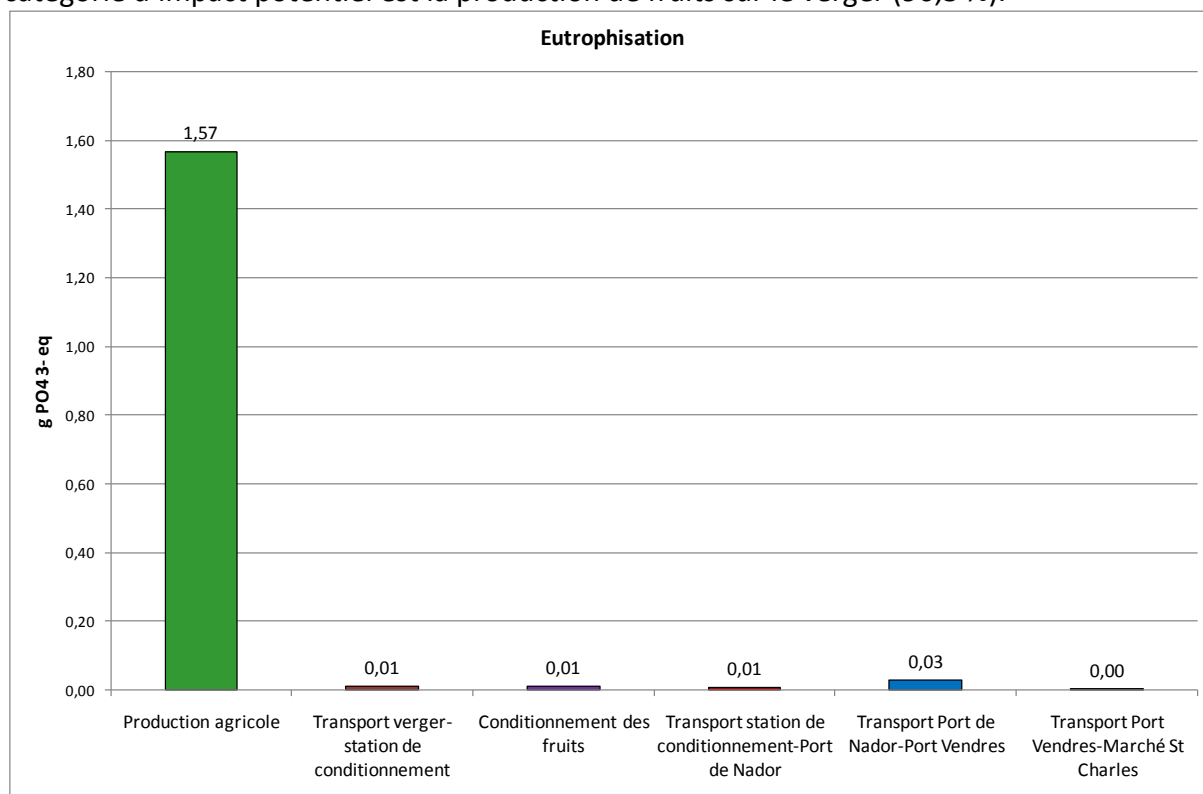


Figure 58 – Eutrophisation, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'eutrophisation, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la fertilisation contribue à 89,4 % de cet impact potentiel.

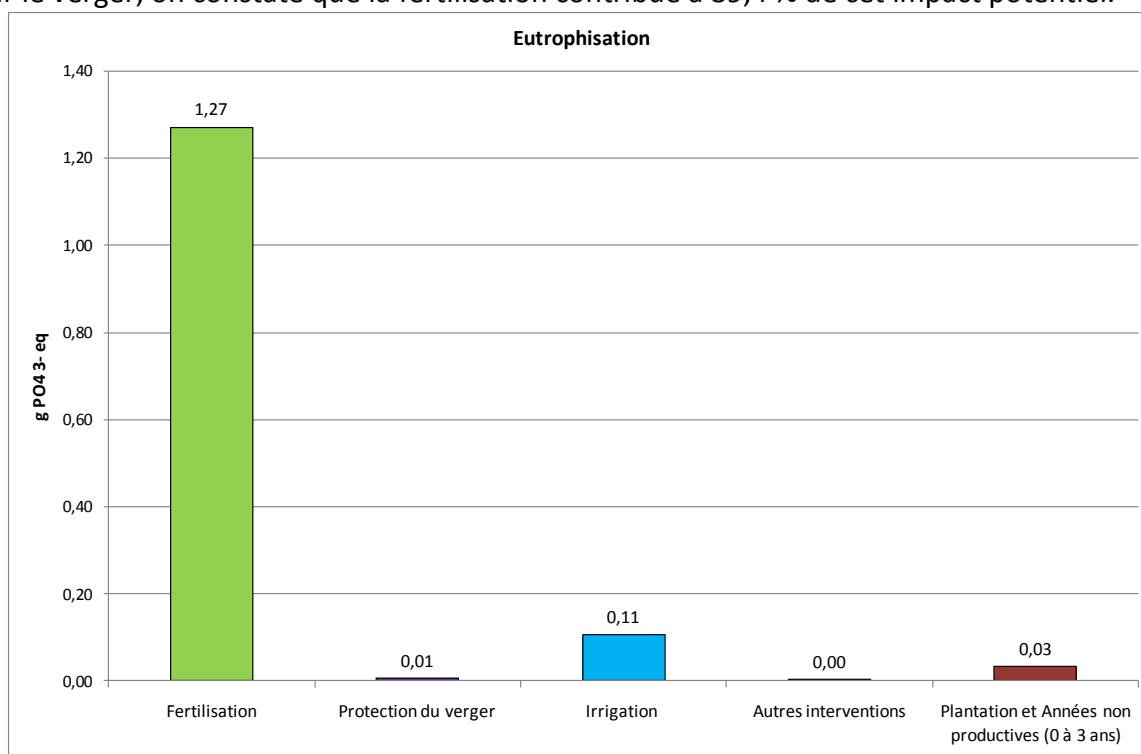


Figure 59 – Eutrophisation, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à l'eutrophisation est : « 12-->30-Fertilisation_OC » pour 41,9 %.

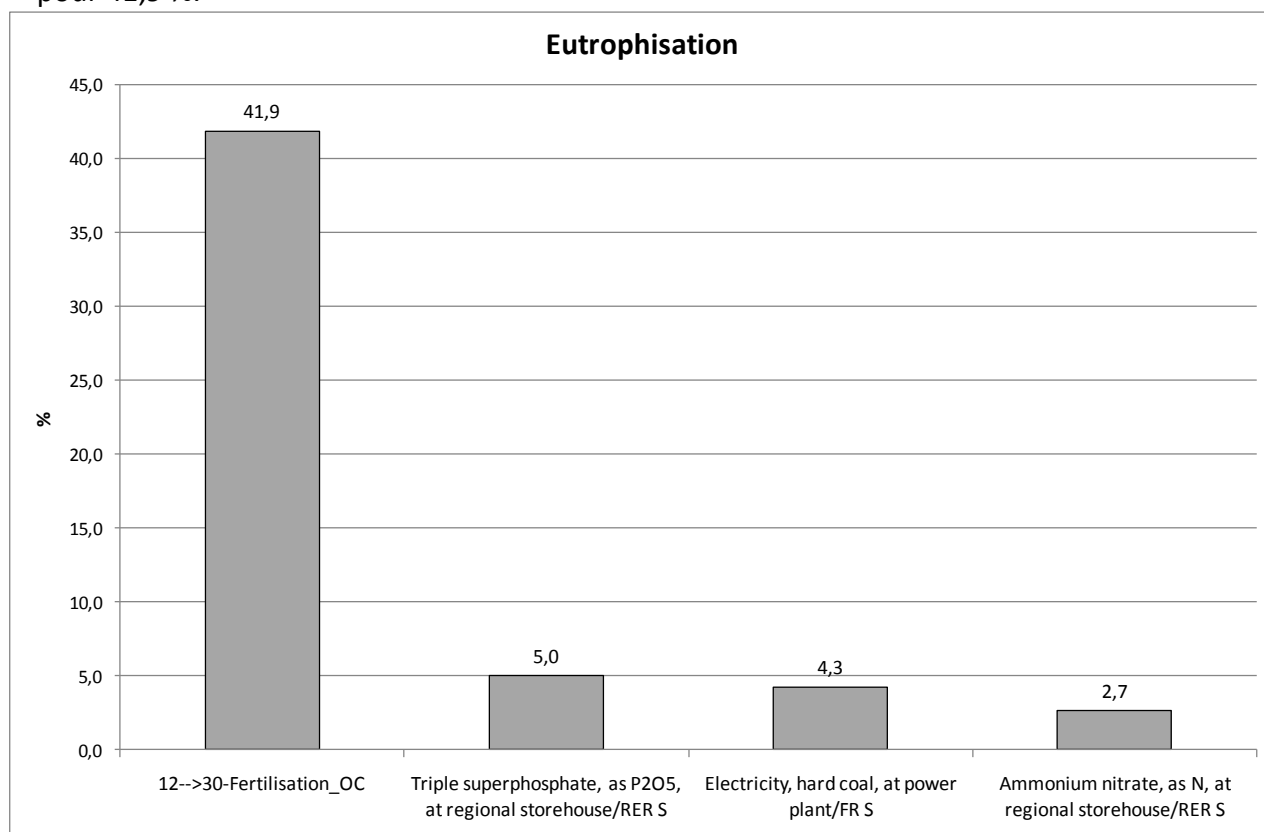


Figure 60 – Processus contribuant à l'eutrophisation, système OC, marché St Charles

Les substances qui contribuent le plus à l'eutrophisation sont les nitrates (73,8 %).

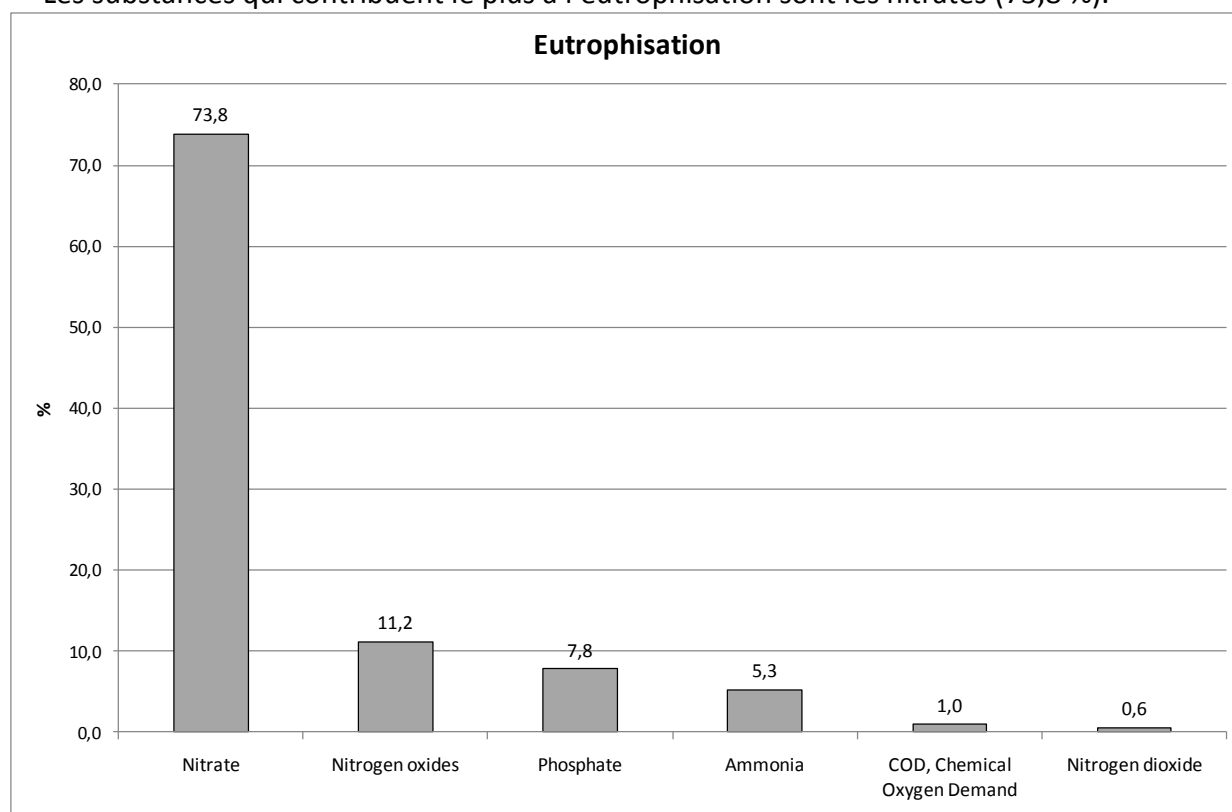


Figure 61 - Substances contribuant à l'eutrophisation, système OC, marché St Charles

Réchauffement climatique

La valeur totale du réchauffement climatique, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 589 g CO₂ eq (Figure 62). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (88 %).

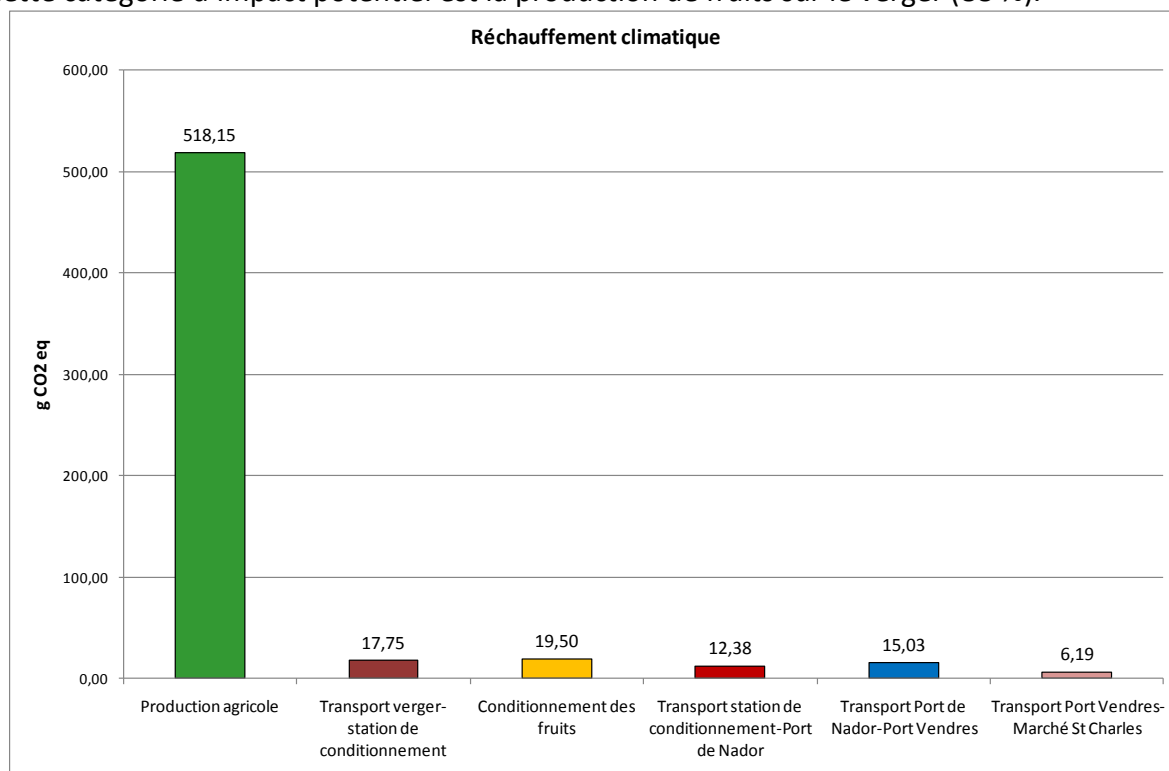


Figure 62 – Réchauffement climatique, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement le réchauffement climatique, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 55,1 % de cet impact potentiel.

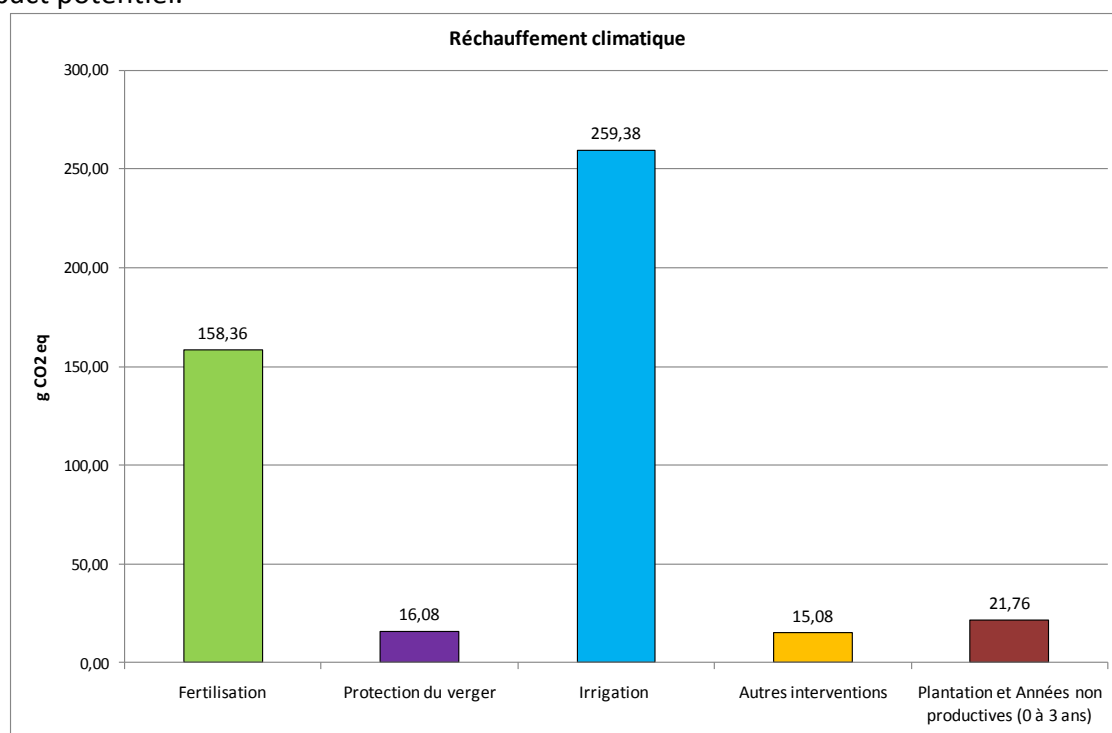


Figure 63 – Réchauffement climatique, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus au réchauffement climatique est : « *Electricity, hard coal, at power plant/FR S* » pour 28,1 %.

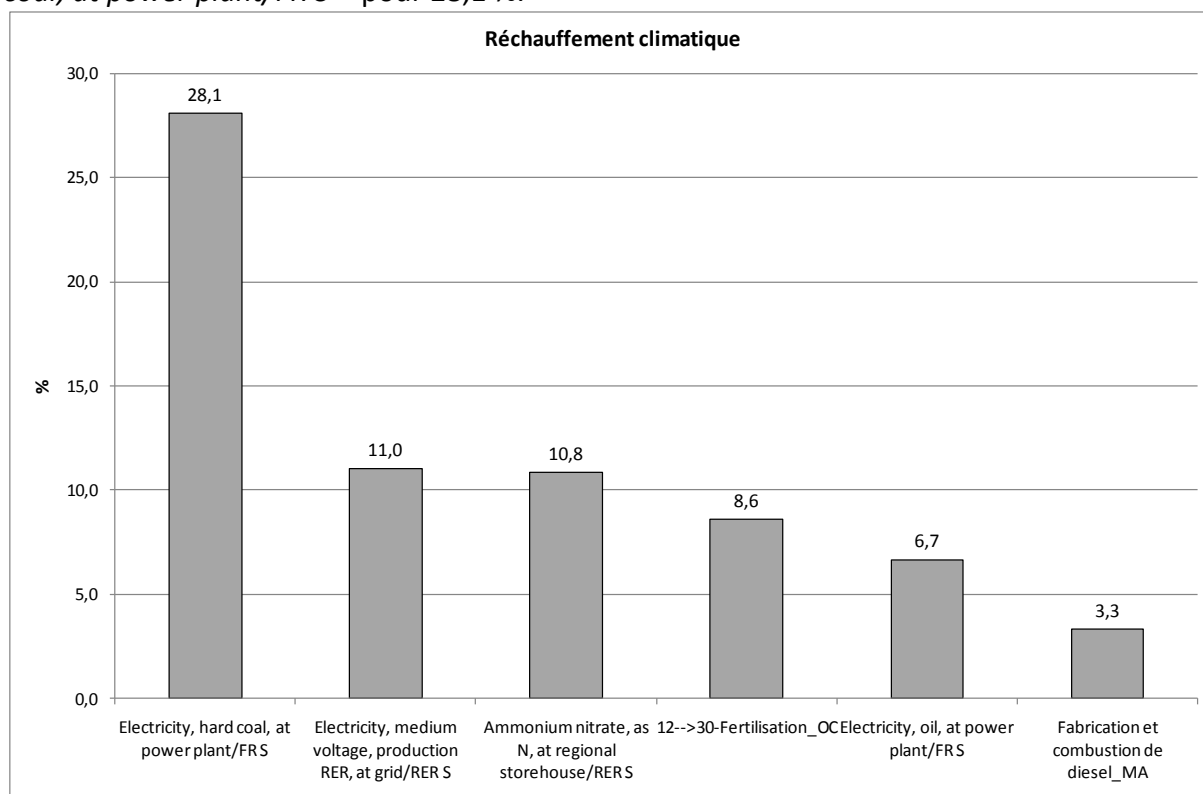


Figure 64 – Processus contribuant au réchauffement climatique, système OC, marché St Charles

La substance qui contribue le plus au réchauffement climatique est le dioxyde de carbone (72,7 %).

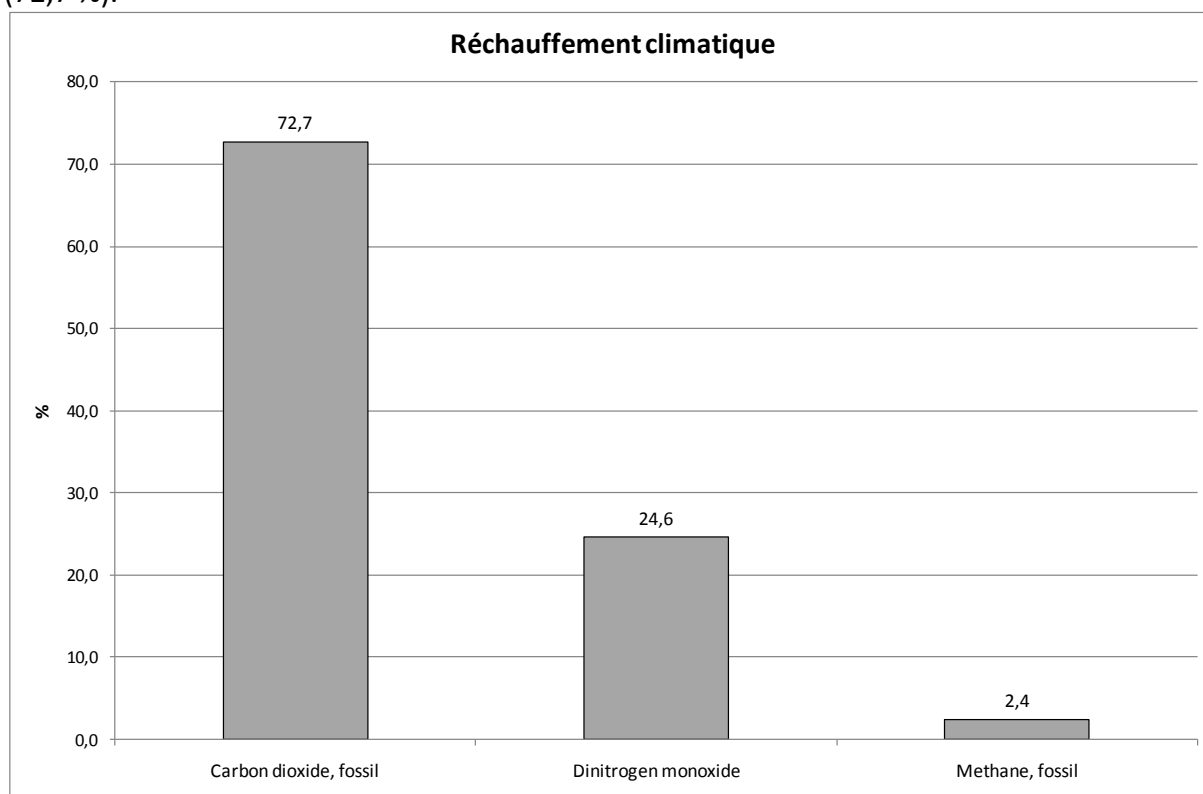


Figure 65 - Substances contribuant au réchauffement climatique, système OC, marché St Charles

Toxicité humaine

La valeur totale de la toxicité humaine, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 162,9 g 1,4-DB eq (Figure 66). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (81,2 %).

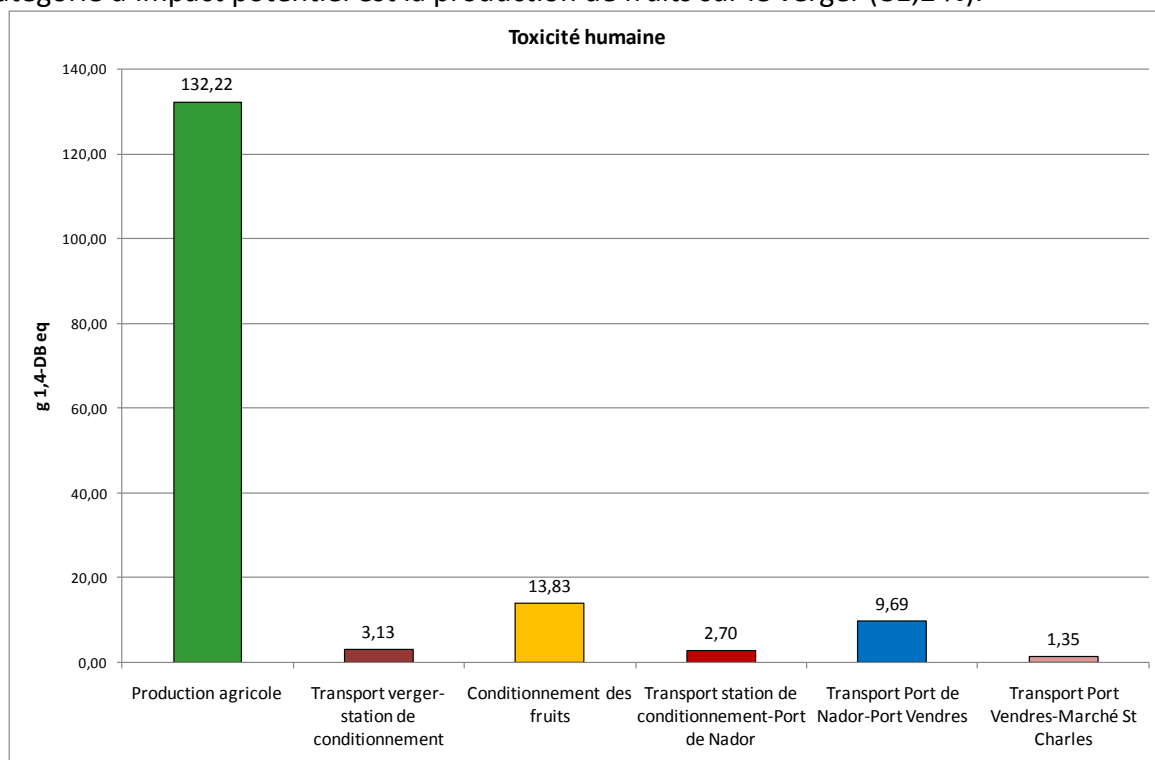


Figure 66 – Toxicité humaine, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la toxicité humaine, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation contribue à 44,7 % de cet impact potentiel.

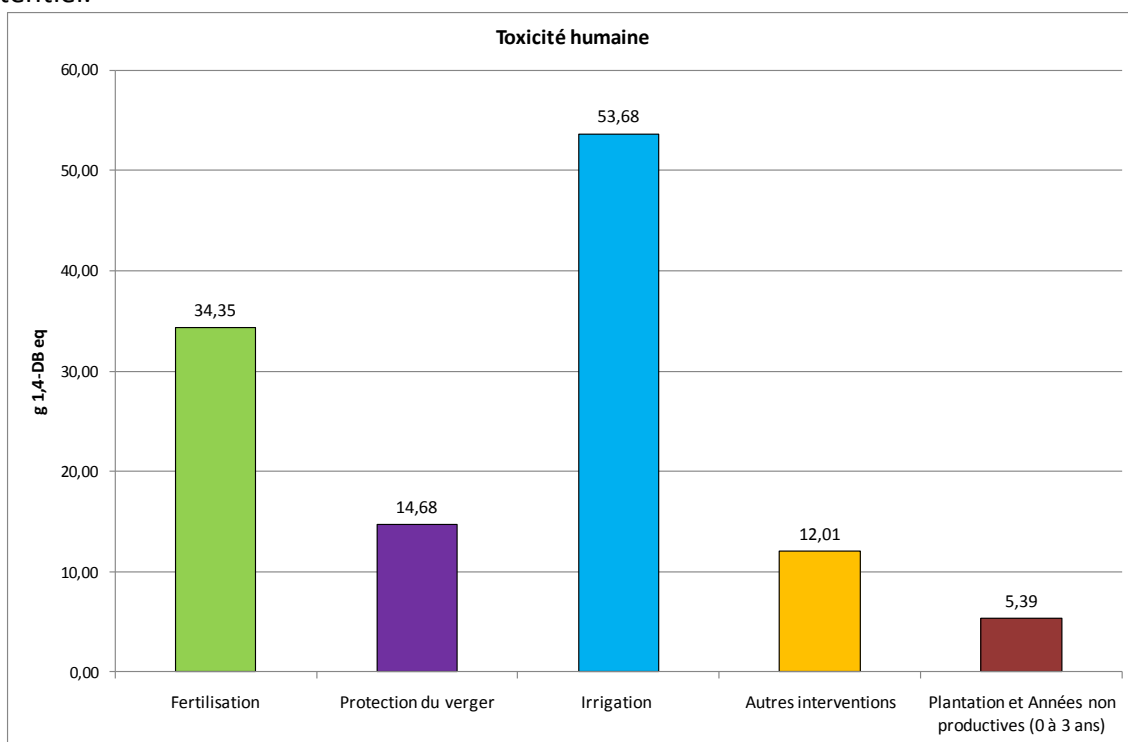


Figure 67 – Toxicité humaine, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à la toxicité humaine est : « *Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S* » pour 13 %.

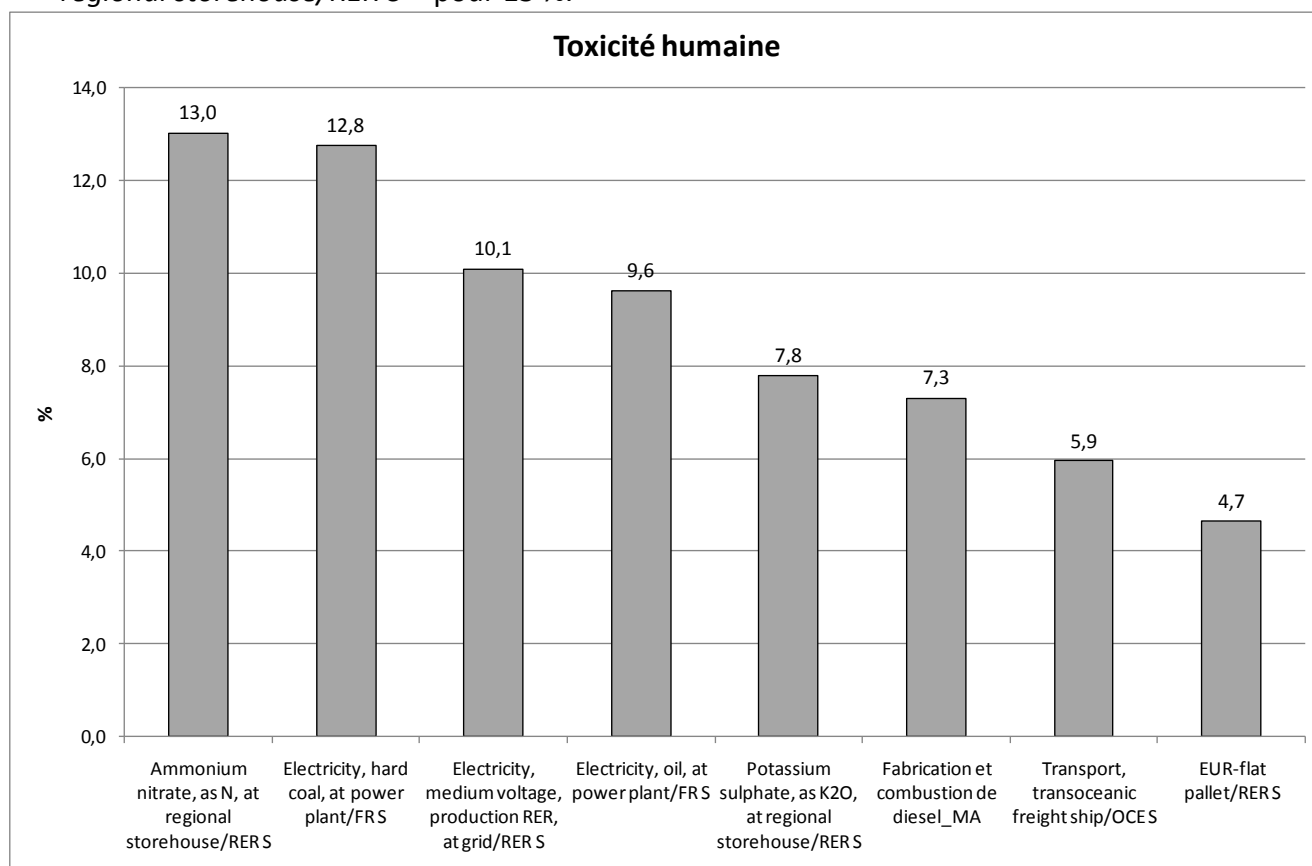


Figure 68 – Processus contribuant à la toxicité humaine, système OC, marché St Charles

Les substances qui contribuent le plus à la toxicité humaine sont les PAH (20,7 %).

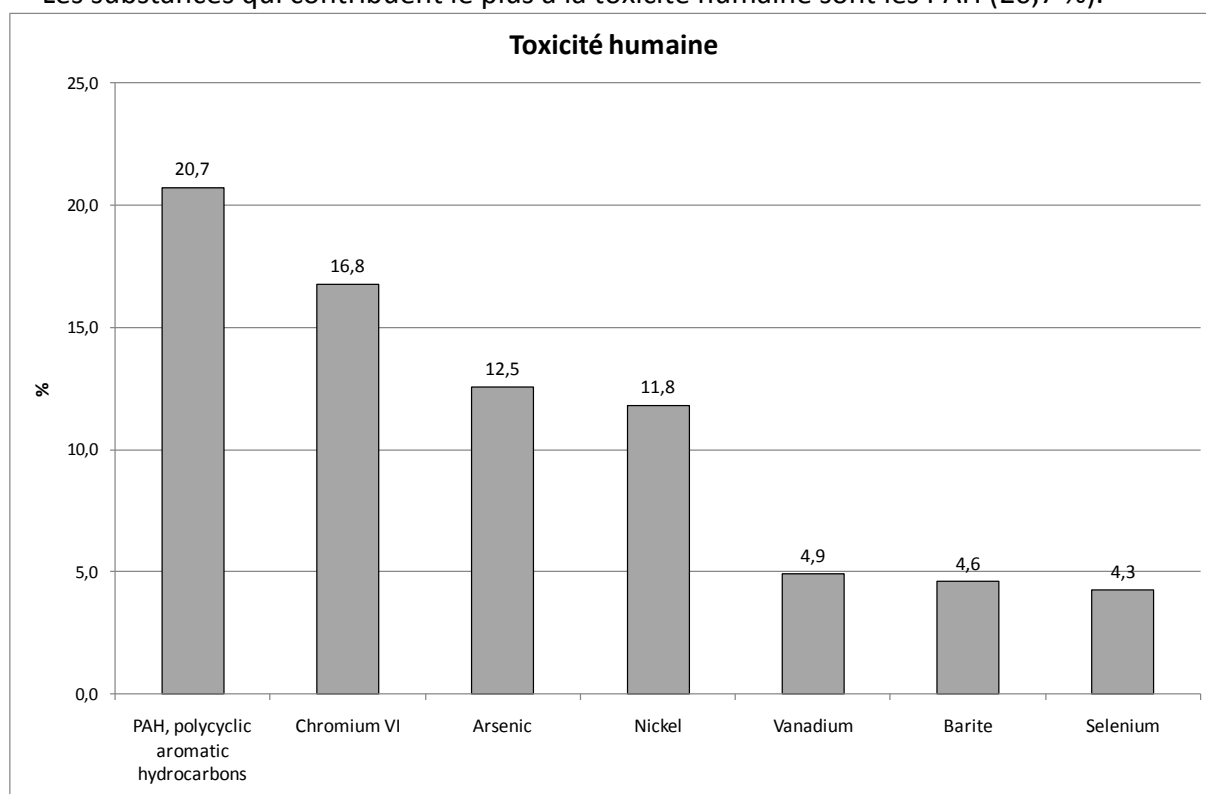


Figure 69 - Substances contribuant à la toxicité humaine, système OC, marché St Charles

Ecotoxicité aquatique des eaux douces

La valeur totale de l'écotoxicité aquatique des eaux douces, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 0,52 kg 1,4-DB eq (Figure 70). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (99,2 %).

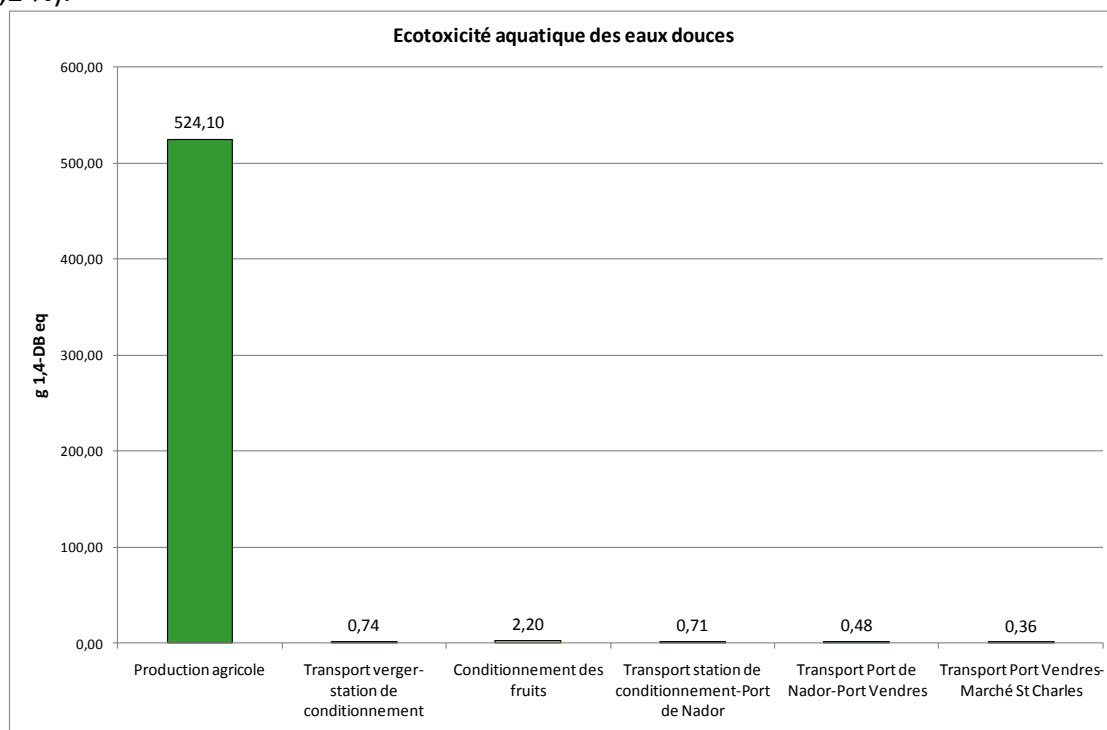


Figure 70 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'écotoxicité aquatique des eaux douces, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la protection du verger contribue à 52,6 % de cet impact potentiel.

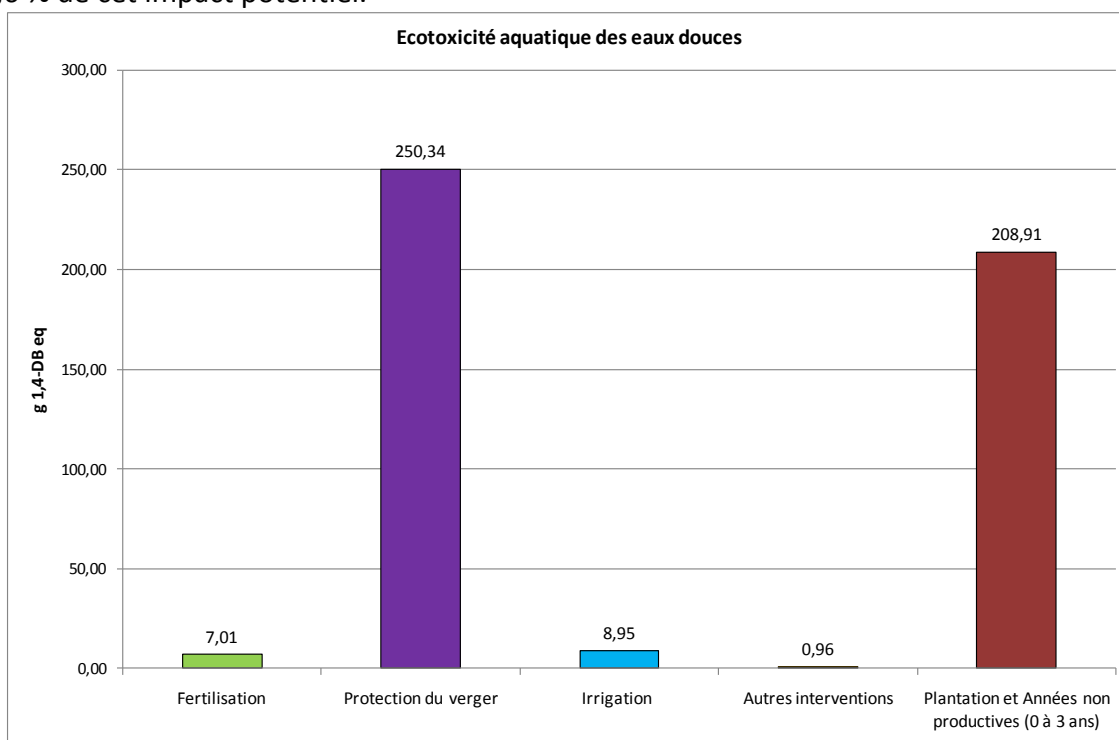


Figure 71 – Ecotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à l'écotoxicité aquatique des eaux douces est :
« 1-->5-Protection des cultures_OC » pour 72,3 %.

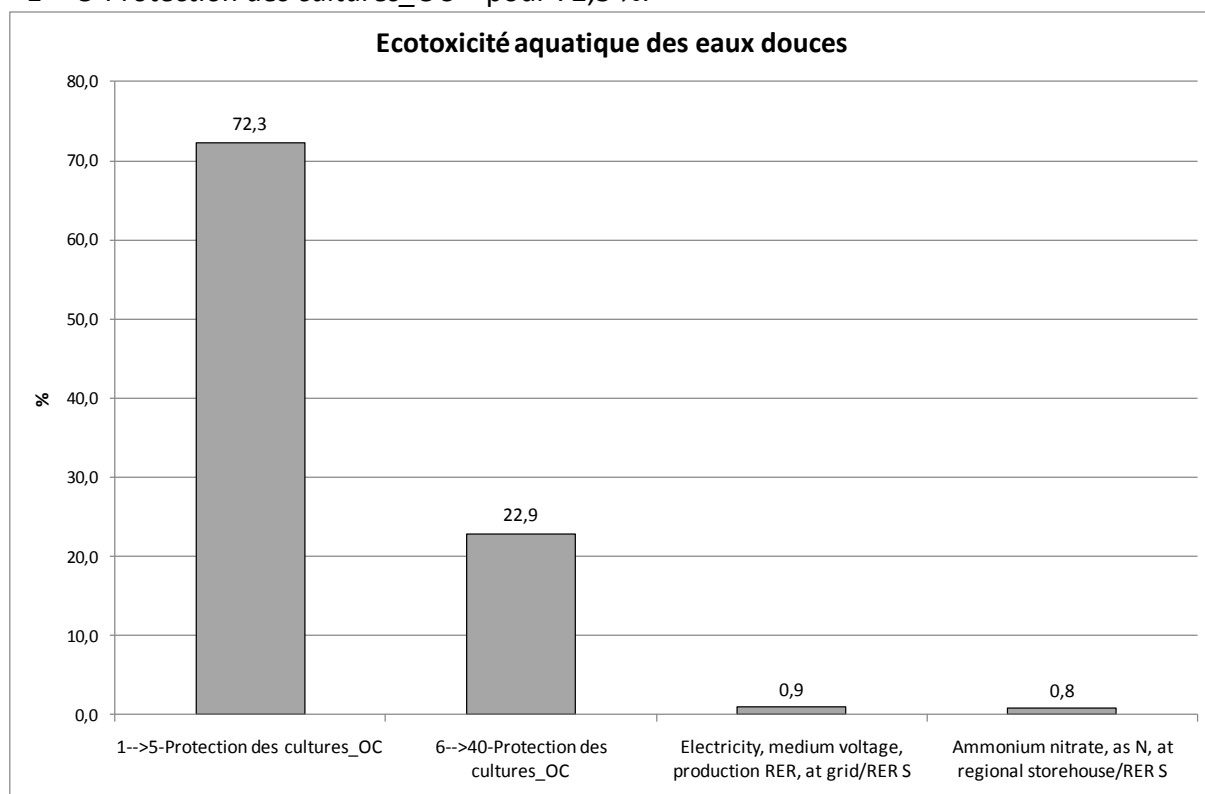


Figure 72 – Processus contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'écotoxicité aquatique des eaux douces est le méthomyl (72,2 %).

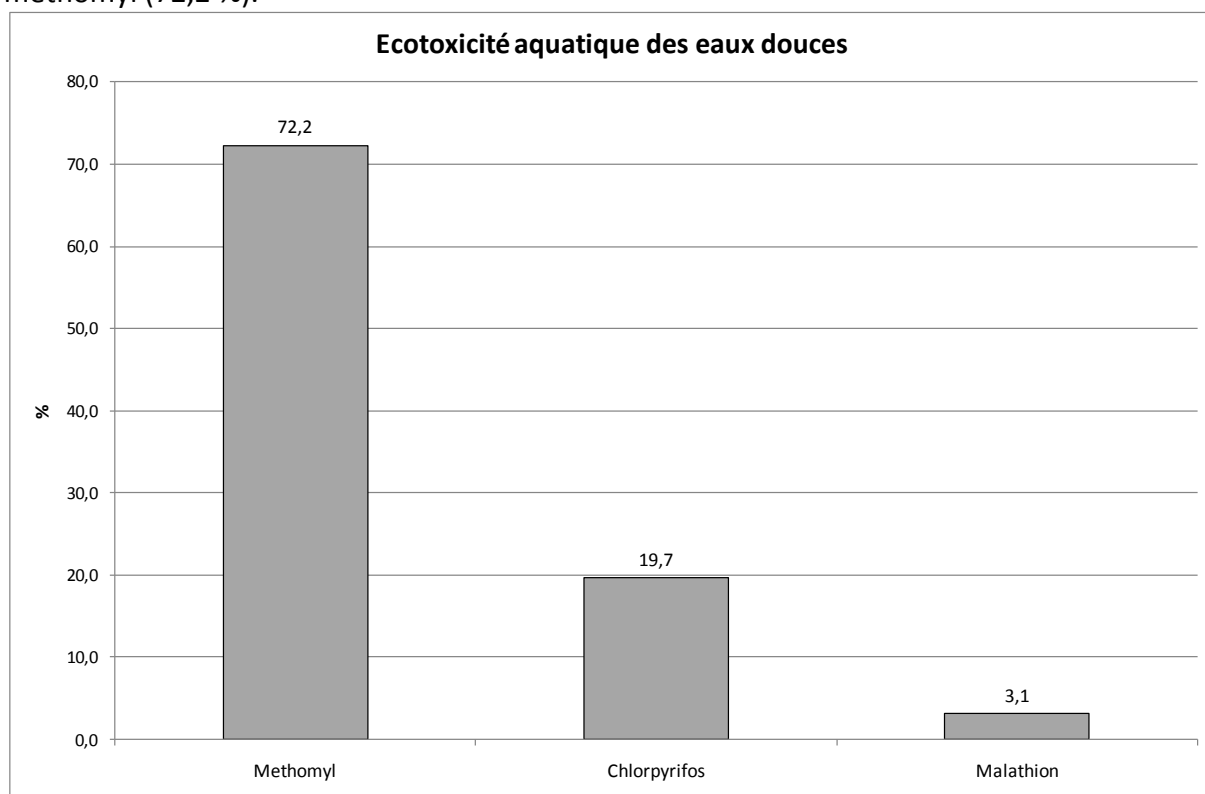


Figure 73 - Substances contribuant à l'écotoxicité aquatique des eaux douces, système OC, marché St Charles

Ecotoxicité terrestre

La valeur totale de l'écotoxicité terrestre, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 15,1 g 1,4-DB eq (Figure 74). Le stade qui contribue le plus à cette catégorie d'impact potentiel est la production de fruits sur le verger (98,3 %).

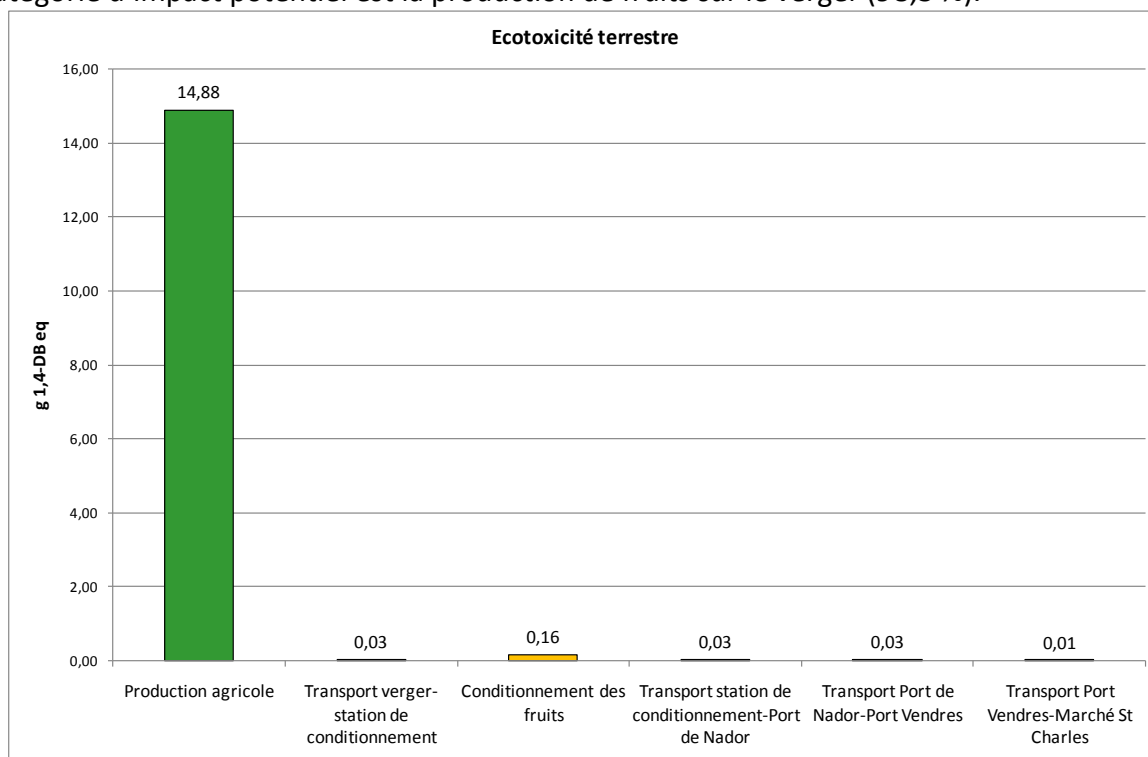


Figure 74 – Ecotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement l'écotoxicité terrestre, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que la protection du verger contribue à 57,2 % de cet impact potentiel.

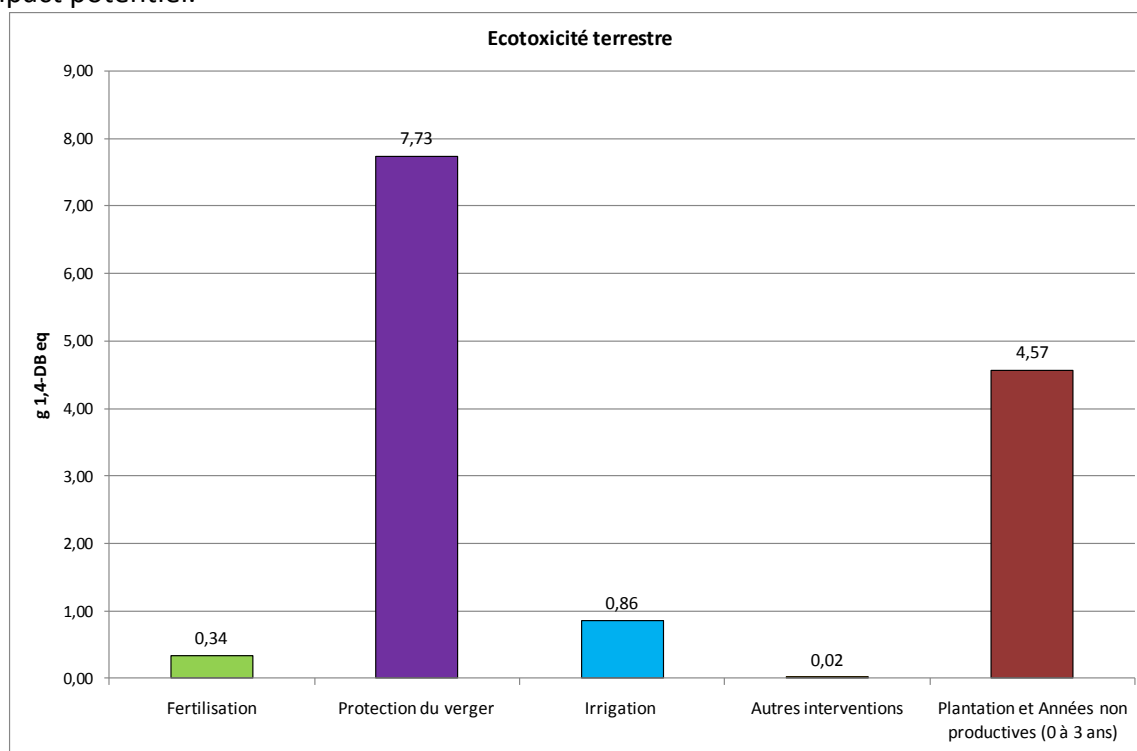


Figure 75 – Ecotoxicité terrestre, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à l'écotoxicité terrestre est : « 1-->5-Protection des cultures_OC » pour 54,6 %.

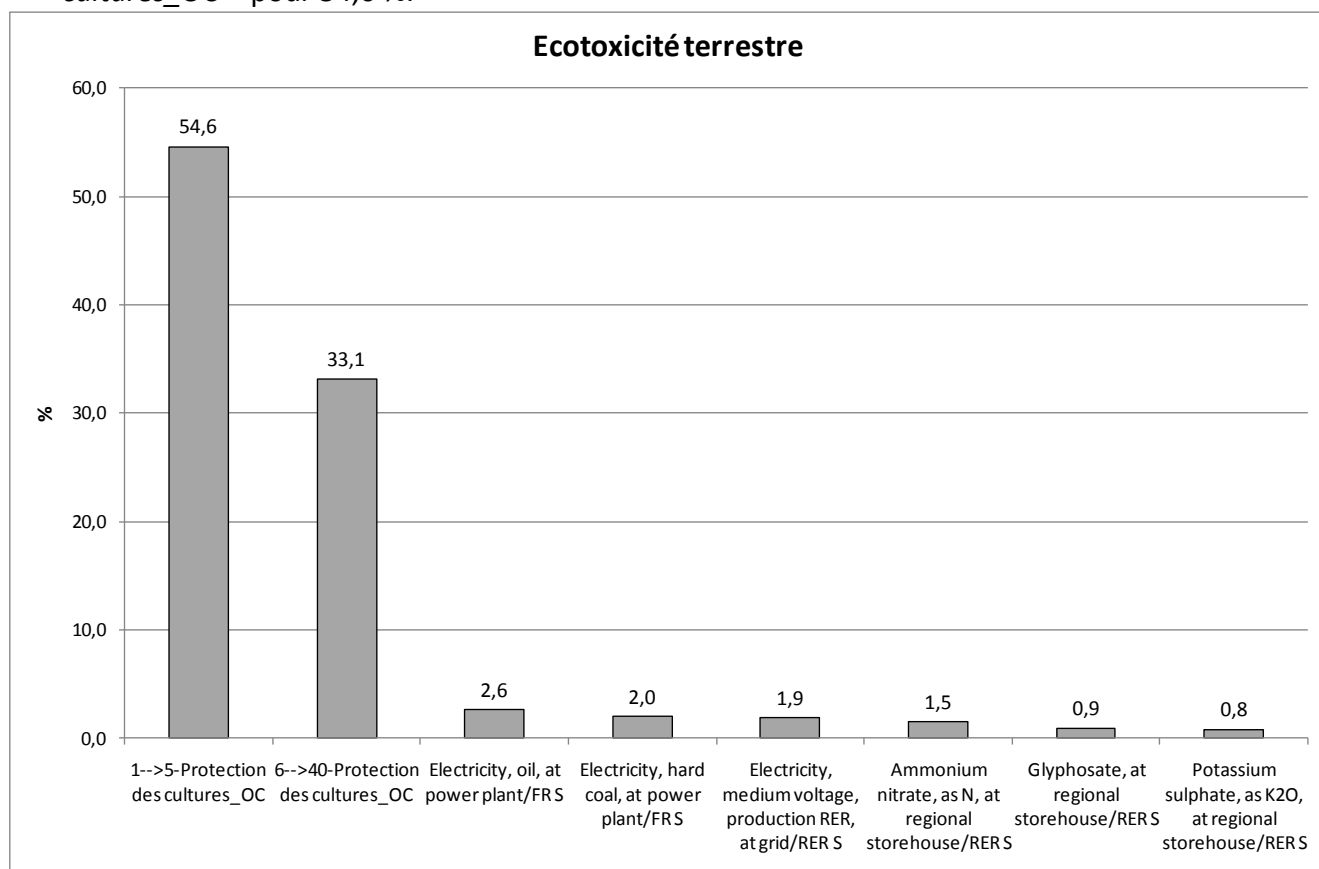


Figure 76 – Processus contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles

La substance qui contribue le plus à l'écotoxicité terrestre est le methomyl (54,6 %).

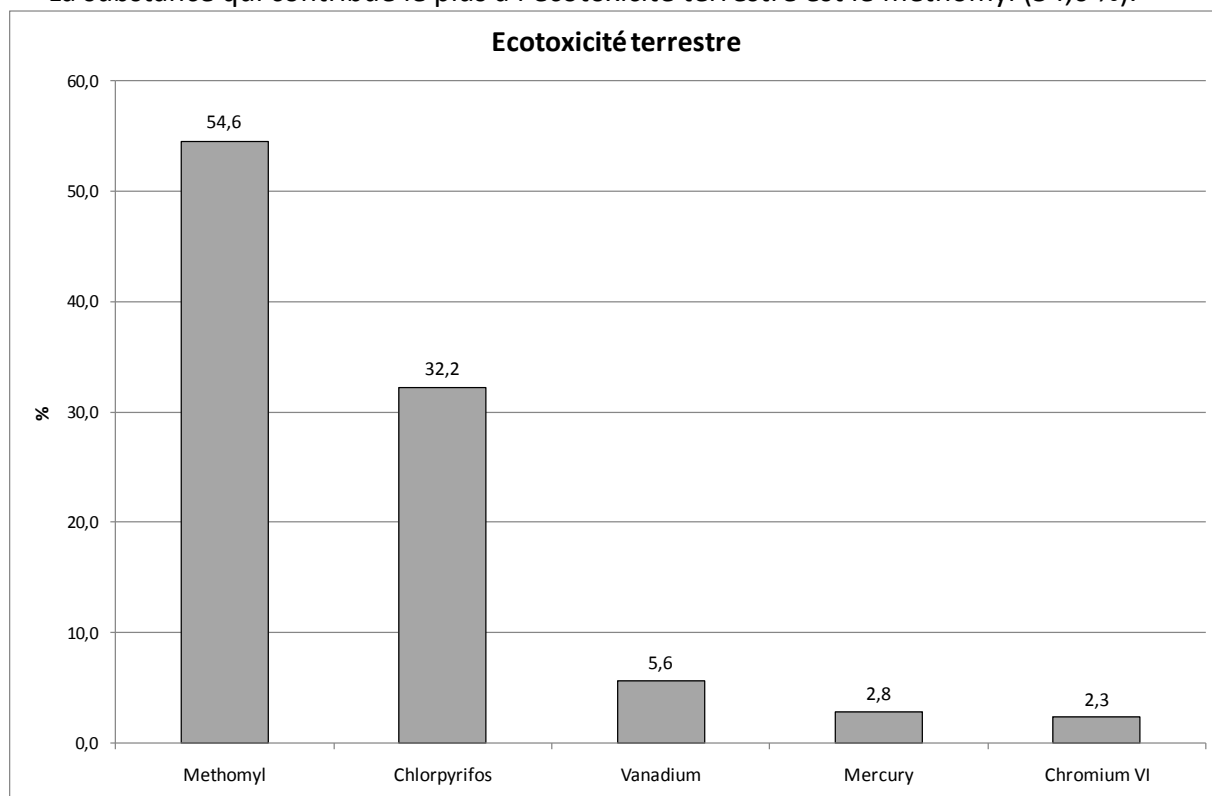


Figure 77 - Substances contribuant à la l'écotoxicité terrestre, système OC, marché St Charles

Demande en eau

La valeur totale de demande en eau, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 5,85 m³ (Figure 78). Le stade qui contribue le plus à cette demande est la production de fruits sur le verger (96,2 %).

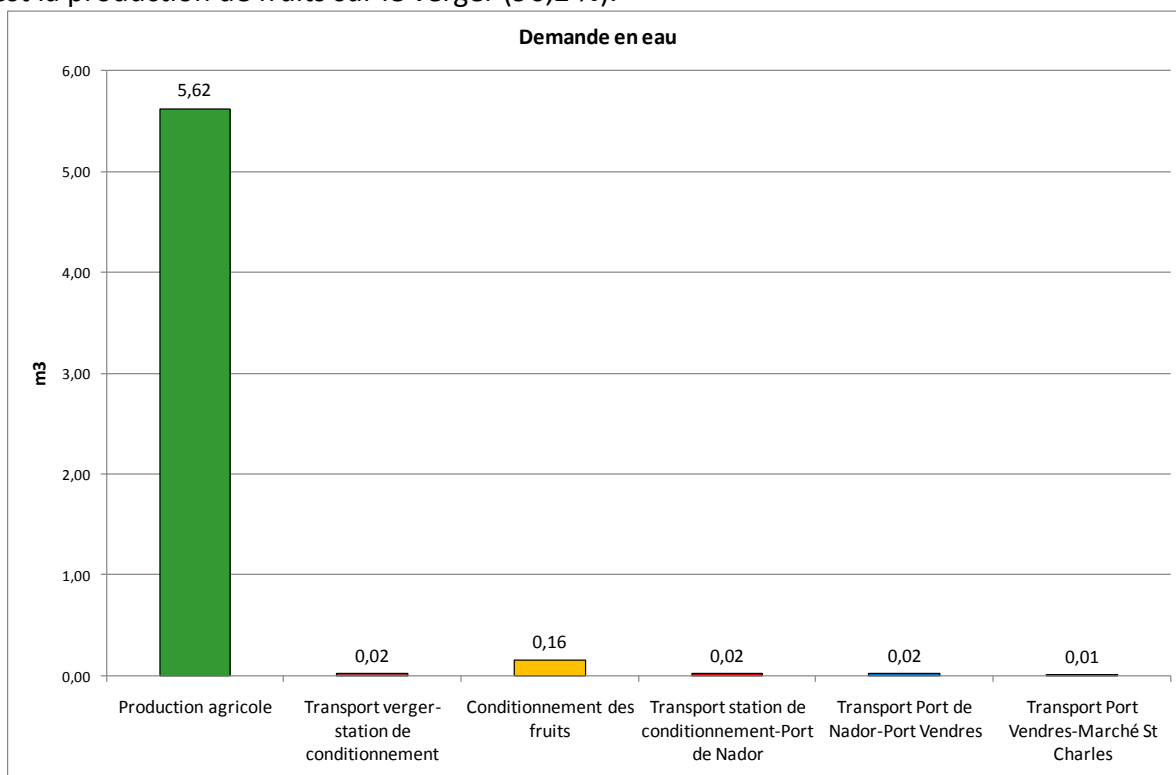


Figure 78 – Demande en eau, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la demande en eau, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation y contribue à 92 %.

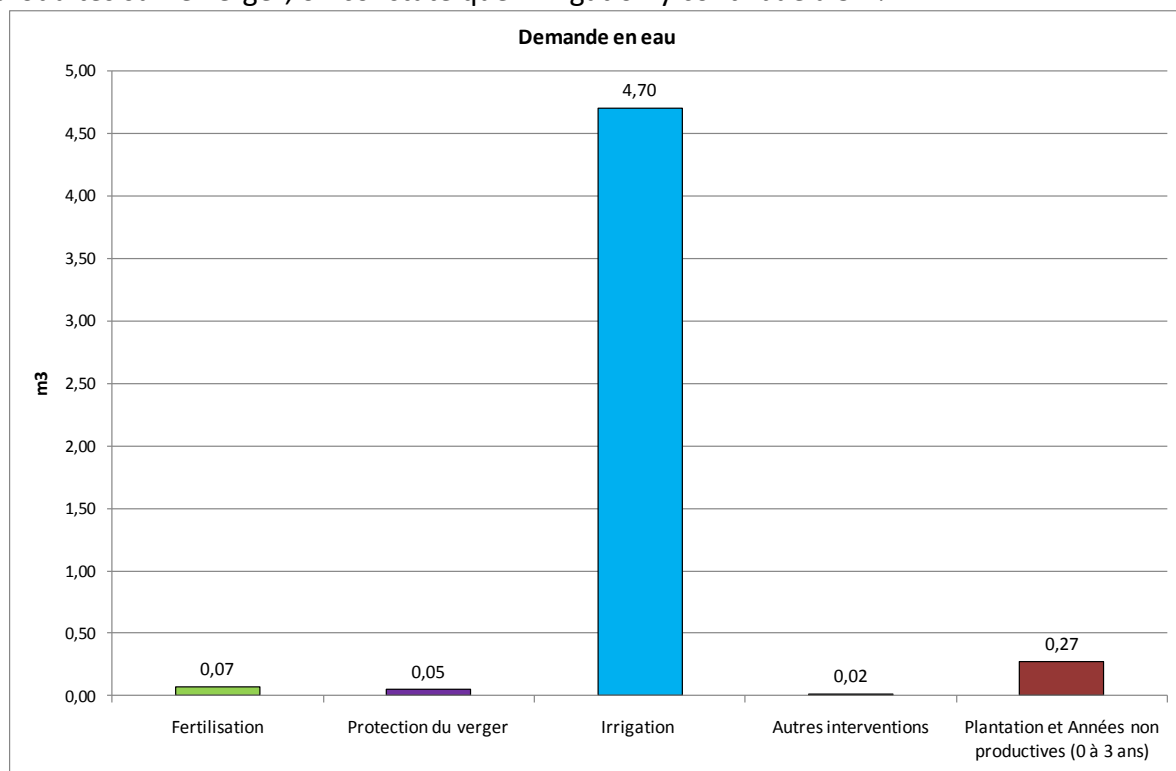


Figure 79 – Demande en eau, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à la demande en eau est : « *Electricity, hydropower, at power plant/FR S* » pour 74,8 %.

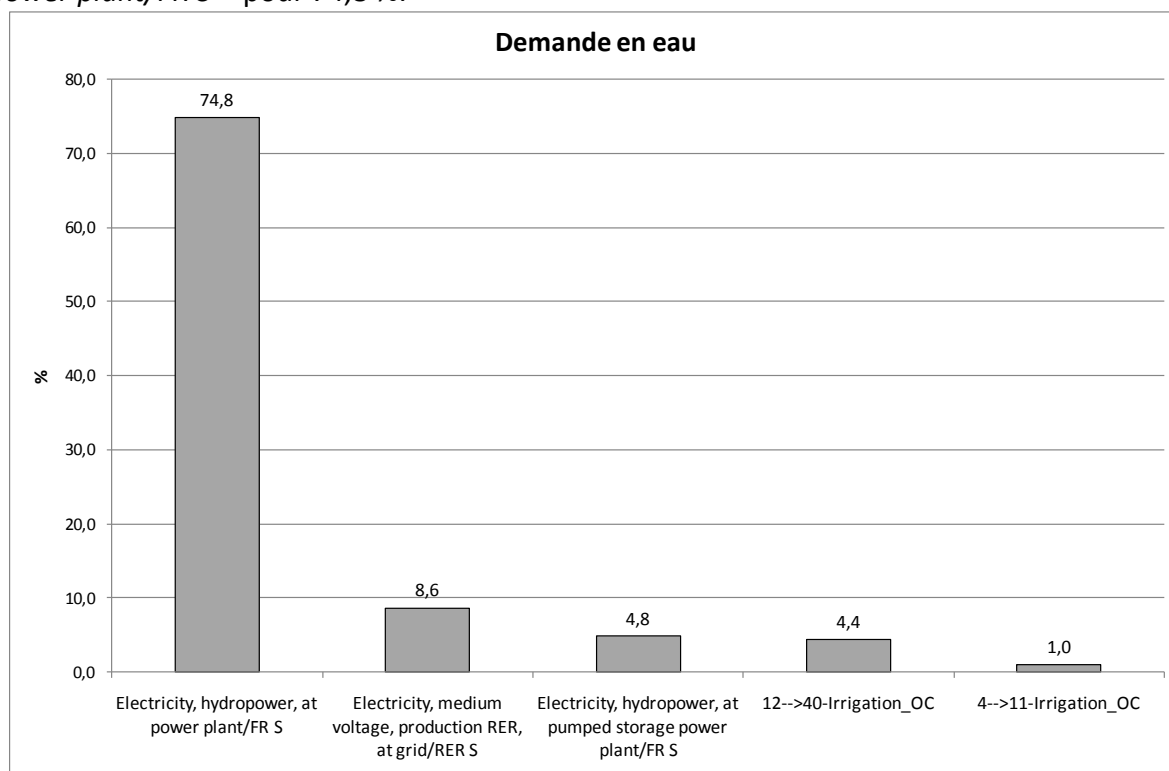


Figure 80 – Processus contribuant à la demande en eau, système OC, marché St Charles

Demande énergétique

La valeur totale de demande énergétique, pour 1 kg de petits agrumes livrés à la porte du marché St Charles, est de 7,63 MJ (Figure 81). Le stade qui contribue le plus à cette demande est la production de fruits sur le verger (83 %).

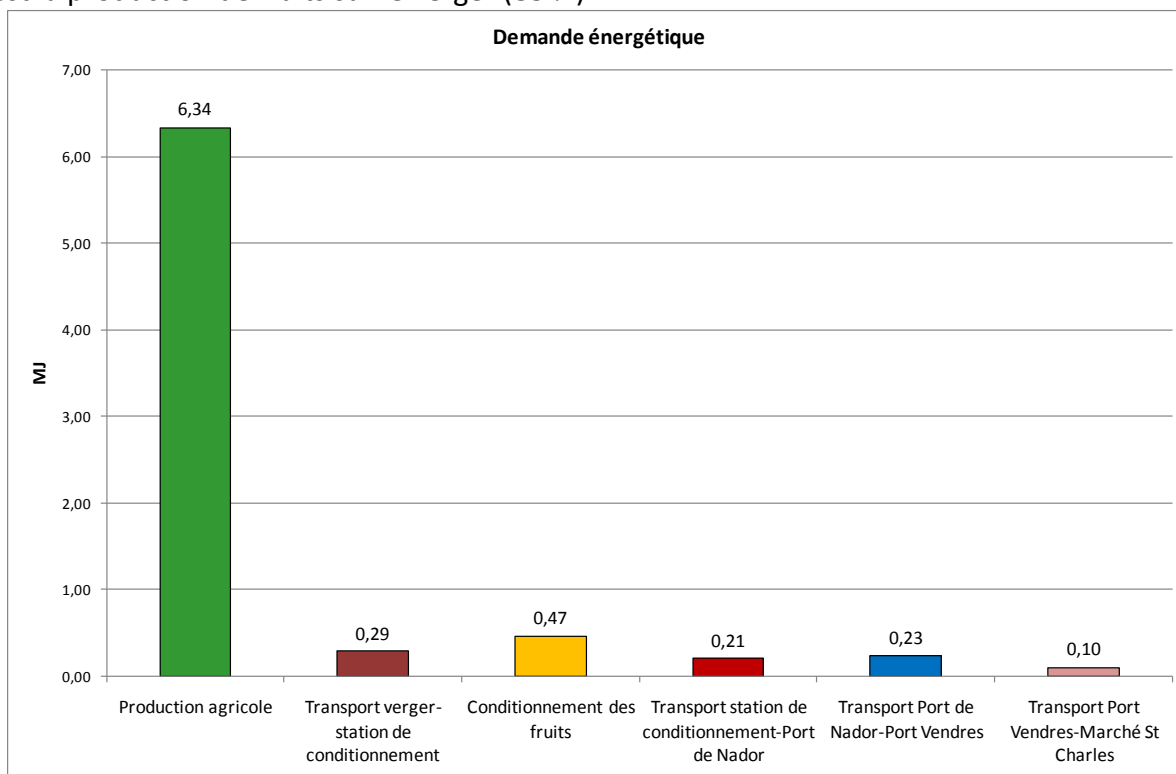


Figure 81 – Demande énergétique, système OC, marché St Charles

Si l'on analyse plus particulièrement la demande en énergie, pour 1 kg de clémentines produites sur le verger, on constate que l'irrigation y contribue à 73,8 %.

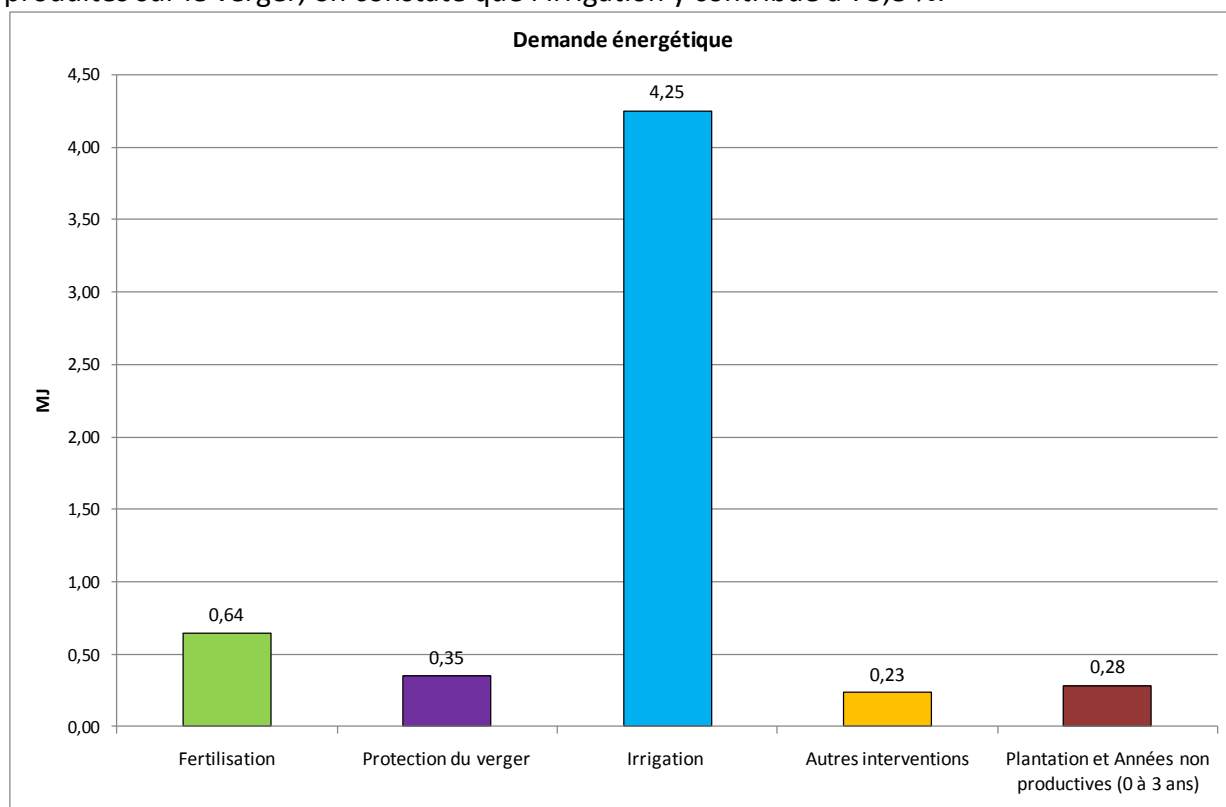


Figure 82 – Demande énergétique, système OC, verger

Le processus qui contribue le plus à la demande en énergie est : « *Electricity, hard coal, at power plant/FR S* » pour 24,9 %.

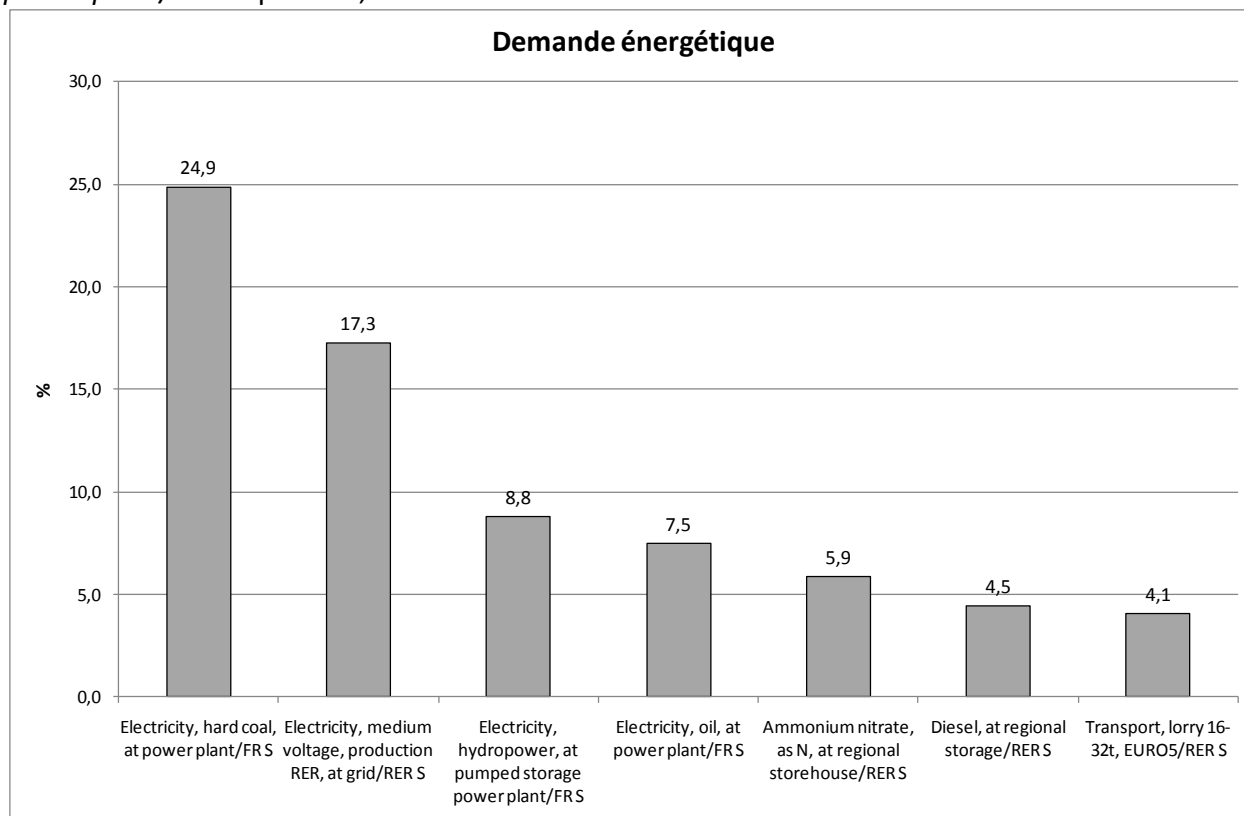


Figure 83 – Processus contribuant à la demande en énergie, système OC, marché St Charles

Résultats de la normalisation

Les résultats de la normalisation (Figures 84 et 85) permettent de présenter une hiérarchie des catégories d'impact potentiel. On constate alors que deux catégories contribuent de façon importante à l'activité de production de clémentines par rapport aux autres secteurs d'activité, qui sont par ordre d'importance : l'écotoxicité aquatique des eaux douces et l'écotoxicité terrestre. Au stade agricole, ce sont les mêmes catégories.

Dans le cadre d'une amélioration des pratiques visant à réduire les impacts environnementaux de la production de petits agrumes, la priorité d'action se ferait par rapport à ces deux catégories d'impact.

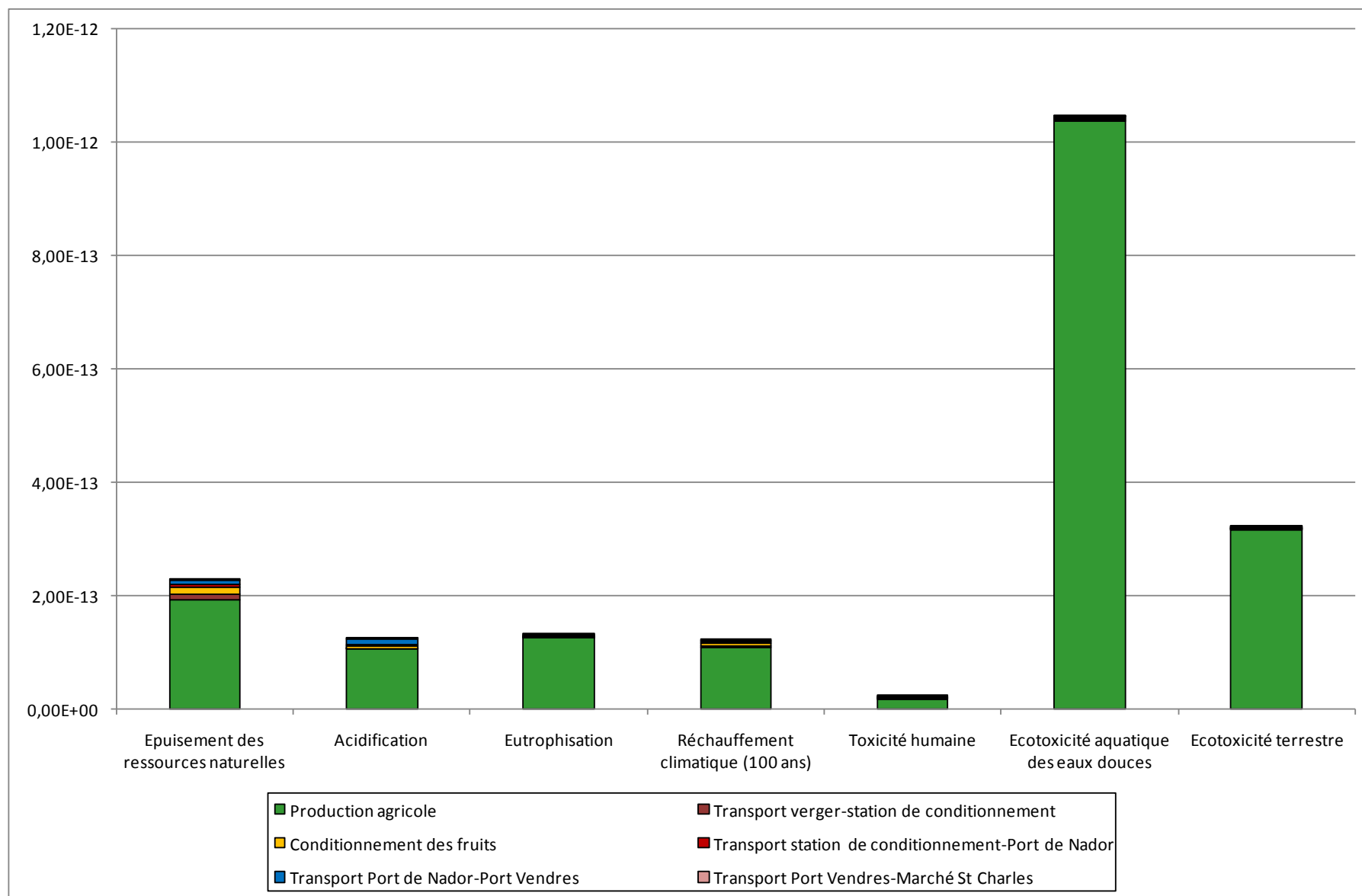


Figure 84 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995

Tableau 31 - Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) du berceau à la plateforme de distribution (St Charles)/West Europe 1995

Catégorie d'impact	Total	Production agricole	Transport verger-station de conditionnement	Conditionnement des fruits	Transport station de conditionnement-Port de Nador	Transport Port de Nador-Port Vendres	Transport Port Vendres-Marché St Charles
Epuisement des ressources naturelles	2,30E-13	1,93E-13	8,25E-15	1,29E-14	5,97E-15	6,74E-15	2,98E-15
Acidification	1,25E-13	1,05E-13	1,89E-15	3,87E-15	1,35E-15	1,21E-14	6,77E-16
Eutrophisation	1,30E-13	1,26E-13	8,05E-16	8,87E-16	5,89E-16	2,25E-15	2,94E-16
Réchauffement climatique (100 ans)	1,23E-13	1,08E-13	3,69E-15	4,06E-15	2,57E-15	3,13E-15	1,29E-15
Toxicité humaine	2,15E-14	1,75E-14	4,14E-16	1,83E-15	3,57E-16	1,28E-15	1,78E-16
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	1,05E-12	1,04E-12	1,46E-15	4,36E-15	1,41E-15	9,53E-16	7,03E-16
Ecotoxicité terrestre	3,21E-13	3,15E-13	6,27E-16	3,29E-15	5,58E-16	7,35E-16	2,79E-16

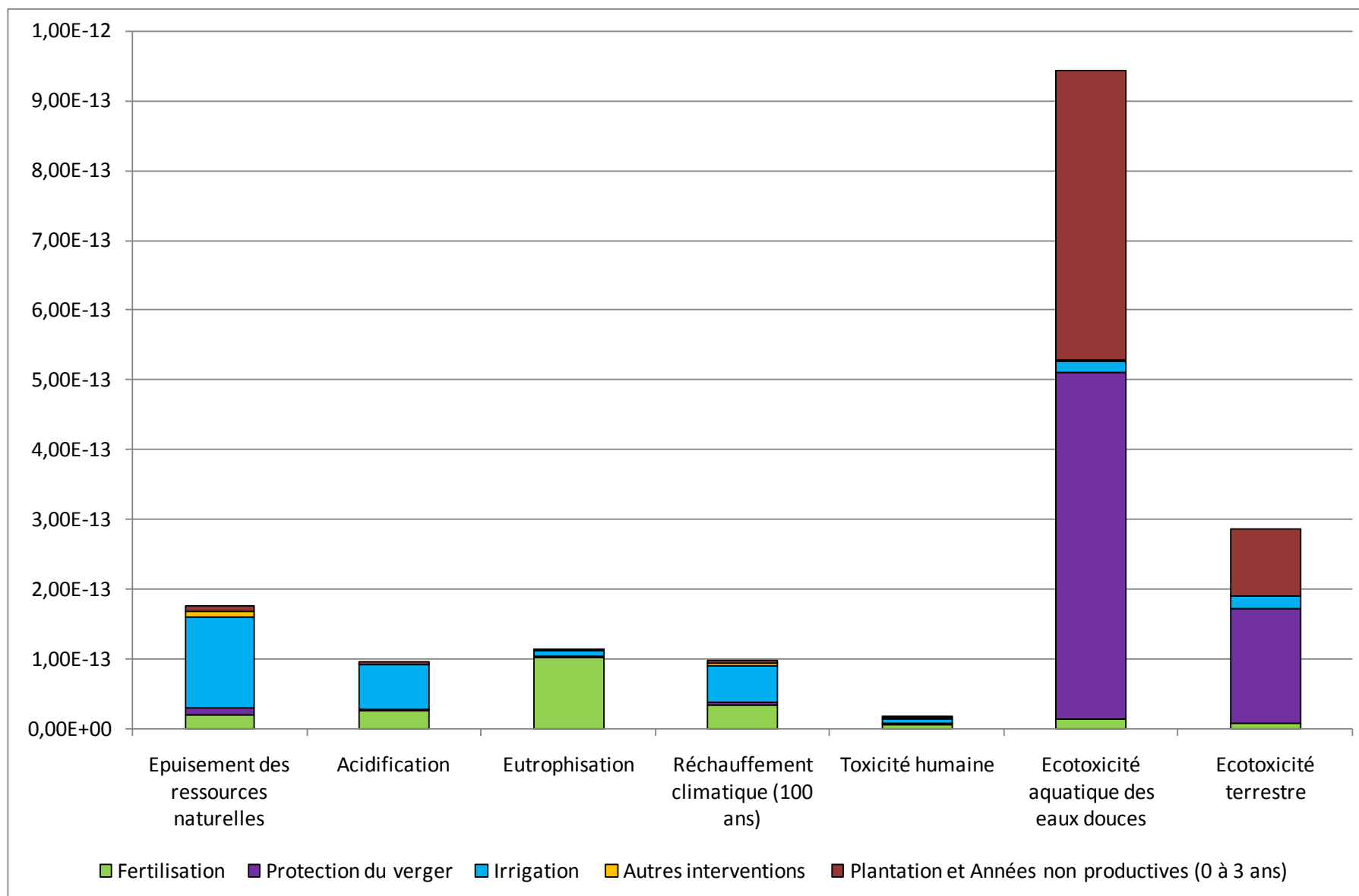


Figure 85 – Analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger/West Europe 1995

Tableau 32 – Résultats chiffrés de l'analyse de contribution normalisée d'un kg de clémentines Cadoux (système OC) au stade verger/West Europe 1995

Catégorie d'impact	Total	Fertilisation	Protection du verger	Irrigation	Autres interventions	Plantation et Années non productives (0 à 3 ans)
Epuisement des ressources naturelles	1,76E-13	1,91E-14	9,87E-15	1,31E-13	6,86E-15	8,65E-15
Acidification	9,58E-14	2,52E-14	2,57E-15	6,26E-14	1,23E-15	4,16E-15
Eutrophisation	1,14E-13	1,02E-13	5,11E-16	8,58E-15	3,39E-16	2,70E-15
Réchauffement climatique (100 ans)	9,79E-14	3,29E-14	3,34E-15	5,40E-14	3,14E-15	4,53E-15
Toxicité humaine	1,59E-14	4,53E-15	1,94E-15	7,09E-15	1,58E-15	7,12E-16
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	9,43E-13	1,39E-14	4,96E-13	1,77E-14	1,91E-15	4,14E-13
Ecotoxicité terrestre	2,87E-13	7,15E-15	1,64E-13	1,82E-14	4,11E-16	9,69E-14

Bilan et interprétation des résultats

1/ Petits agrumes livrés à Saint Charles

L'étape qui contribue le plus à l'ensemble des catégories d'impact potentiel est le stade de production des fruits sur le verger, et ce pour les deux systèmes étudiés (système OC et système SN).

L'étape de conditionnement des fruits semble avoir un impact potentiel relativement faible pour toutes les catégories.

L'étape de transport (post-verger) est le deuxième stade le plus impactant après la production agricole. Ses impacts potentiels dépendent fortement des distances parcourues pour arriver jusqu'en France et du mode de transport. Par exemple, pour une même distance, un transport par bateau est moins impactant qu'un transport en camion car le bateau transporte beaucoup plus de marchandises.

Pour cette étude, les clémentines ont suivi le chemin le plus direct pour être acheminées jusqu'à Saint Charles. On a posé l'hypothèse qu'il existait une liaison maritime directe entre les ports d'Agadir et de Nador avec Port Vendres. Cette hypothèse fera l'objet d'une analyse de sensibilité.

2/ Petits agrumes à la sortie du verger

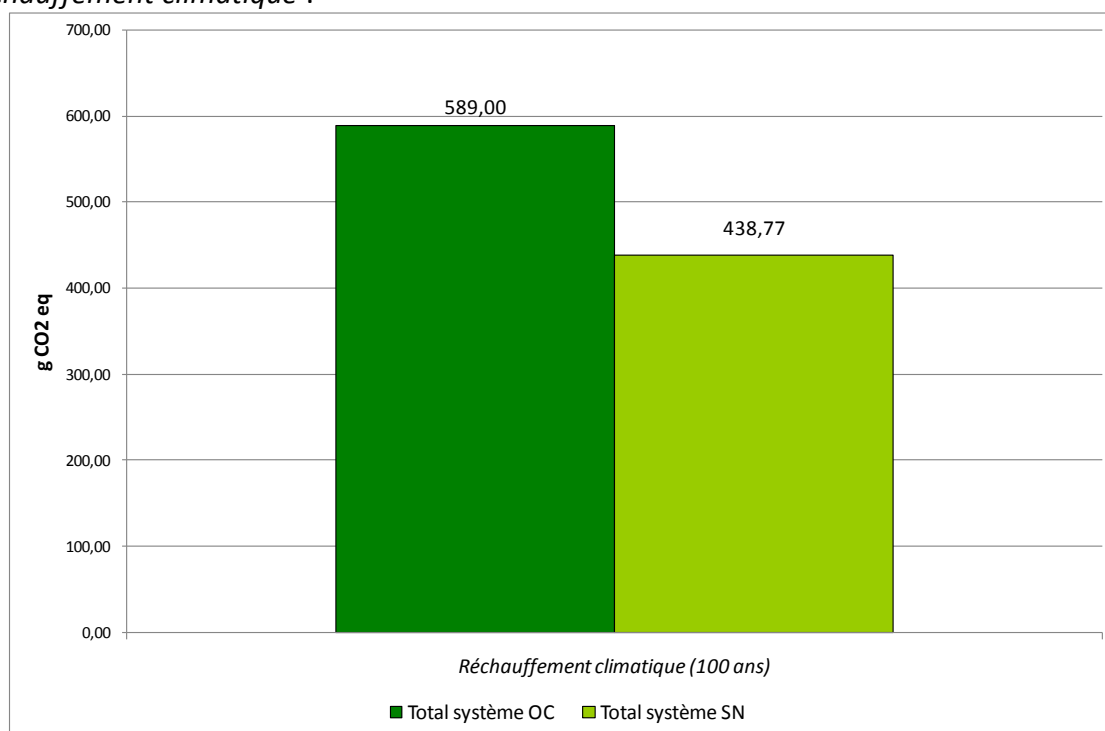
Verger OC : L'irrigation contribue majoritairement à 6 catégories d'impact potentiel (épuisement des ressources naturelles, acidification, réchauffement climatique, toxicité humaine, demande en eau et en énergie). La fertilisation contribue majoritairement à l'eutrophisation. La protection phytosanitaire du verger contribue majoritairement à 2 catégories d'impact (écotoxicité aquatique des eaux douces et écotoxicité terrestre).

Verger SN : L'irrigation contribue majoritairement à 4 catégories d'impact potentiel (épuisement des ressources naturelles, toxicité humaine, demande en eau et en énergie). La fertilisation contribue majoritairement à 3 catégories d'impact potentiel (acidification, eutrophisation et réchauffement climatique). La protection phytosanitaire du verger contribue majoritairement à 2 catégories d'impact (écotoxicité aquatique des eaux douces et écotoxicité terrestre).

On constate que les *coûts fixes* (production de plants sur la pépinière, plantation et années non productives) ont un impact non négligeable sur l'ensemble des catégories d'impact, notamment sur l'écotoxicité. Au vu de ces résultats, on préconise donc de ne pas omettre ces coûts fixes pour l'analyse du cycle de vie en arboriculture fruitière.

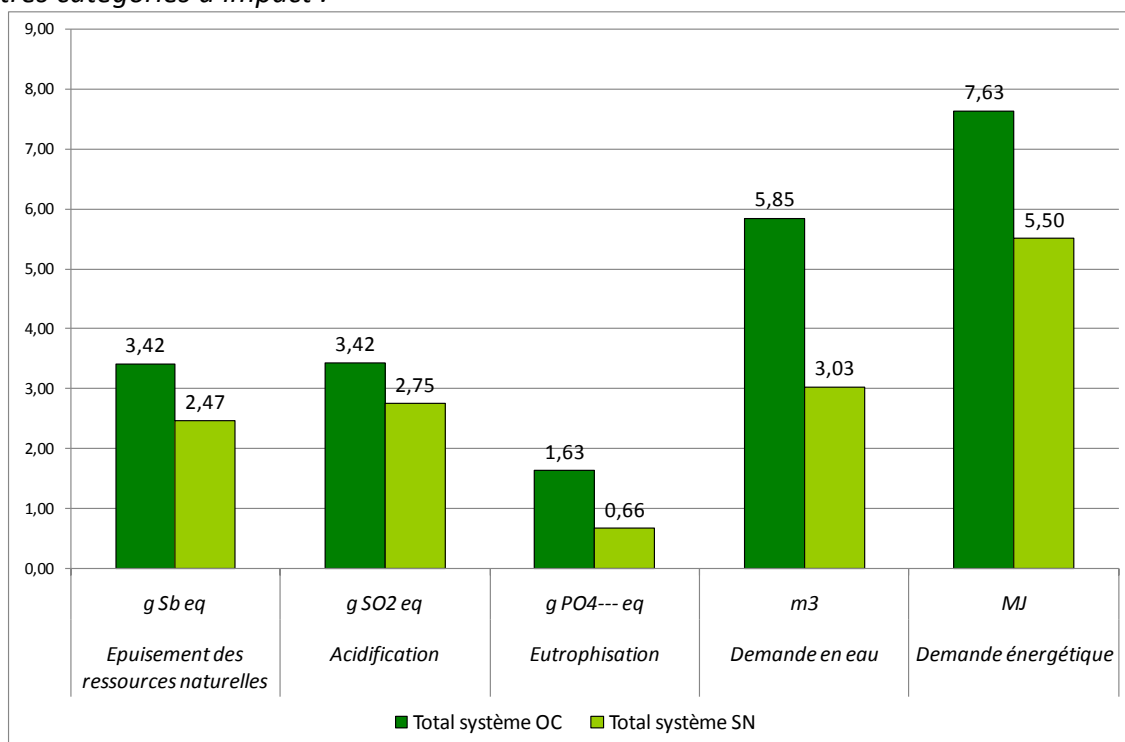
3/ Comparaison des résultats de l'ACV des petits agrumes produits au Maroc et livrés au marché Saint Charles

Réchauffement climatique :

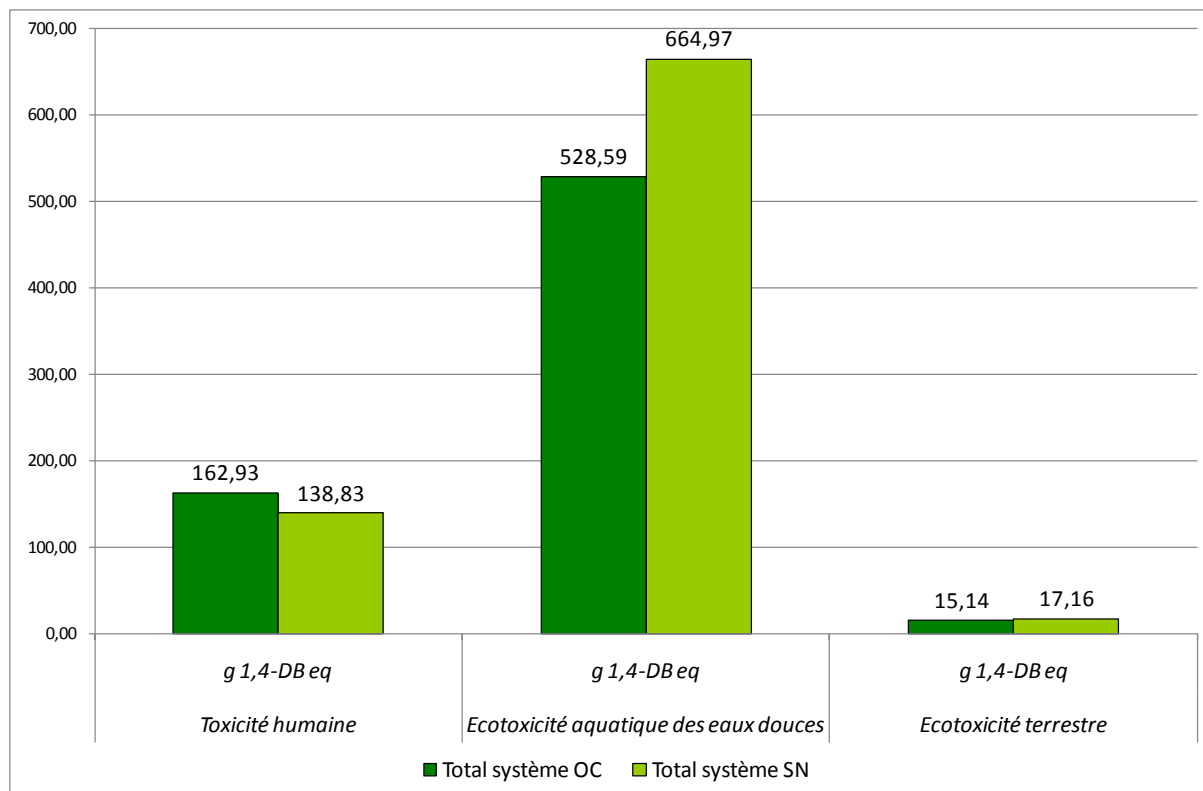


Le système OC (Oriental) a un impact potentiel plus important que le système SN (Souss) sur le réchauffement climatique.

Autres catégories d'impact :



Le système OC (Oriental) a un impact potentiel plus important que le système SN (Souss) sur les catégories d'impact autres que le réchauffement climatique et la toxicité/écotoxicité.

Toxicité et écotoxicité :

Le système OC (Oriental) a un impact potentiel plus important que le système SN (Souss) sur la toxicité humaine. Le système SN a un impact potentiel plus important que le système OC sur l'écotoxicité aquatique des eaux douces.

4/ Interprétation des principaux résultats

L'une des raisons pour laquelle le système OC a plus d'impact sur l'environnement que le système SN est la suivante : le rendement du verger OC est inférieur au verger SN. En effet, le verger OC est un verger traditionnel, à moins haut potentiel, mais possédant une image de qualité reconnue (clémentine de Berkane). Ce verger a une durée de vie plus longue que celui du Souss (40 ans contre 25 ans en moyenne). Au cours de ces années, le verger vieillit, et certains arbres malades doivent être arrachés. Cela explique une baisse de rendement régulière à partir d'un certain âge (ici à partir de 31 ans).

Les impacts potentiels résultent essentiellement de la production agricole et donc des pratiques culturales, en lien étroit avec le climat. Ainsi, le verger OC irrigué en gravitaire utilise plus d'eau que le verger SN ; cela se traduit par un lessivage des nitrates plus important et une demande énergétique d'irrigation plus élevée.

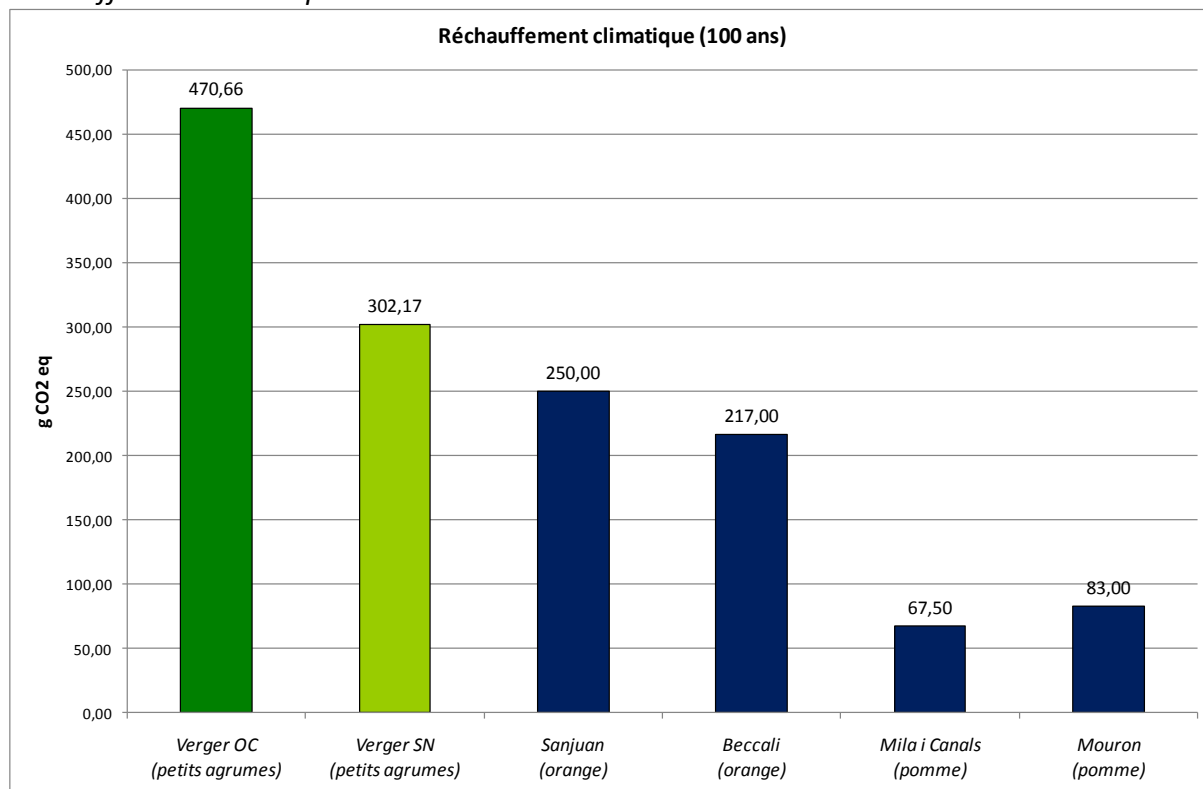
Il est important de noter que les besoins en eau sont déterminés par des données de pluviométrie et de température, ces valeurs sont donc prépondérantes pour les résultats d'impact potentiel.

5/ Comparaison des résultats avec la bibliographie existante

On cherche à comparer nos résultats avec ceux existant dans la bibliographie, à savoir : Sanjuán et al. (2005) sur orange, Beccali et al (2009) sur orange, et deux ACV sur pomme (Mila i Canals, 2003-06 et Mouron et al, 2006).

La comparaison se fait uniquement au stade agricole (« gradle to farm gate »).

Réchauffement climatique :



Les vergers OC et SN ont un impact potentiel sur le réchauffement climatique supérieur aux ACV existantes sur agrumes. C'est surtout le cas du verger OC qui a un impact deux fois plus important que les vergers de Sanjuan et Beccali.

Autres catégories d'impact :

Catégorie d'impact	Unité	Verger OC (petits agrumes)	Verger SN (petits agrumes)	Sanjuan (orange)	Beccali (orange)	Mila i Canals (pomme)	Mouron (pomme)
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	2,61	1,53	-	-	-	-
Acidification	g SO2 eq	2,62	1,72	0,08	1,38	0,55	0,81
Eutrophisation	g PO4--- eq	1,42	0,52	1,95	0,91	-	134,00
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	470,66	302,17	250,00	217,00	67,50	83,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	120,10	88,42	620,00	-	-	-
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	476,17	598,89	-	-	-	-
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	13,52	15,30	4,85	-	-	-
Demande en eau	m3	5,11	2,51	0,18	0,17	0,07	-
Demande énergétique	MJ	5,76	3,31	-	3,42	0,55	1,20

Les résultats sont très variables d'une ACV à l'autre. On constate que les vergers SN et OC ont globalement des impacts potentiels plus importants sur l'environnement que ceux décrits par Sanjuán et Beccali. Seules l'eutrophisation et la demande énergétique ont le même ordre de grandeur que la bibliographie.

Ces différences sur agrumes peuvent s'expliquer par divers aspects : les pratiques sont différentes (notamment fertilisation et irrigation), les rendements sont supérieurs pour Sanjuán et Beccali, les méthodes d'estimation des émissions diffèrent, les années non productives ne sont pas prises en compte et une seule année de production a été modélisée dans les cas de Sanjuán et Beccali.

Une harmonisation des méthodes d'estimation des émissions et de modélisation du verger est donc nécessaire avant de pouvoir strictement comparer entre eux des résultats d'ACV en arboriculture fruitière.

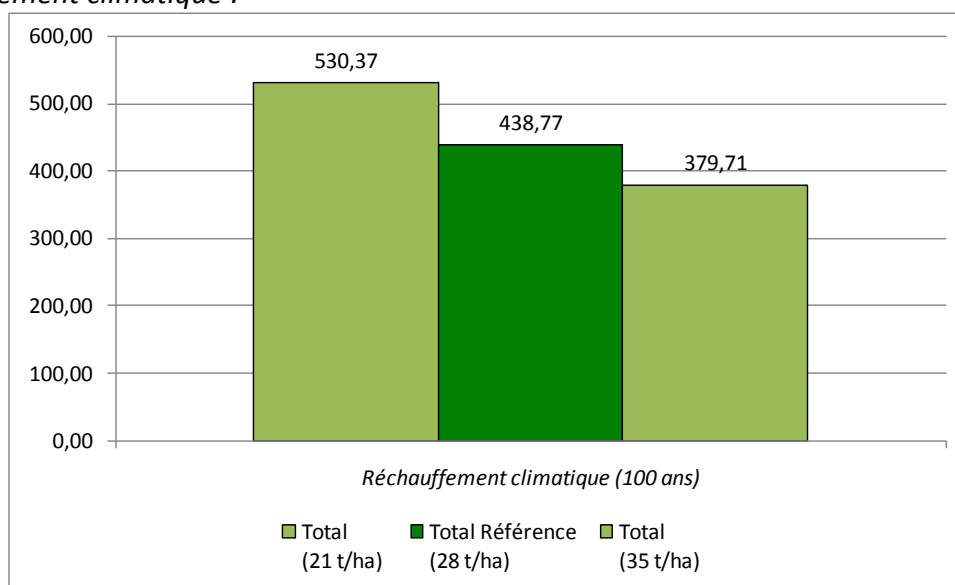
7. Analyse de sensibilité

7.1. Rendement

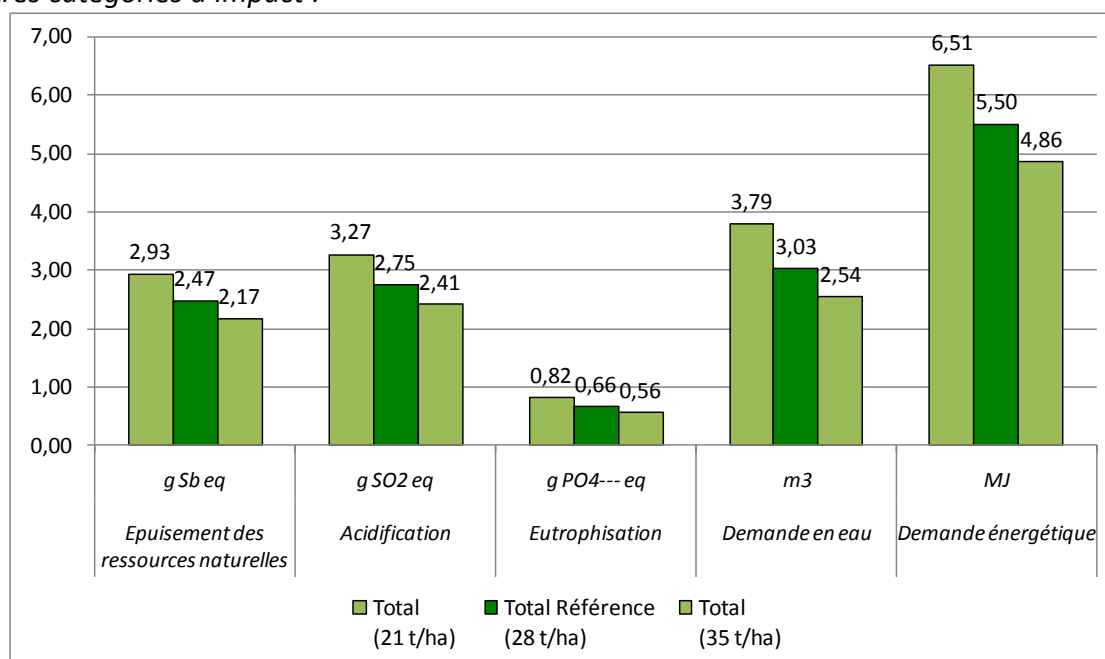
Le scénario de base considère un rendement maximum (rendement plateau) de 28 tonnes/ha pour le verger SN et 24 tonnes/ha pour le verger OC. Nous allons faire varier le rendement plateau des vergers SN et OC de ± 7 t/ha. Dans le cas de l'Oriental, on comptabilisera une décroissance des rendements à hauteur de -1% par an à partir de la 31^{ème} année.

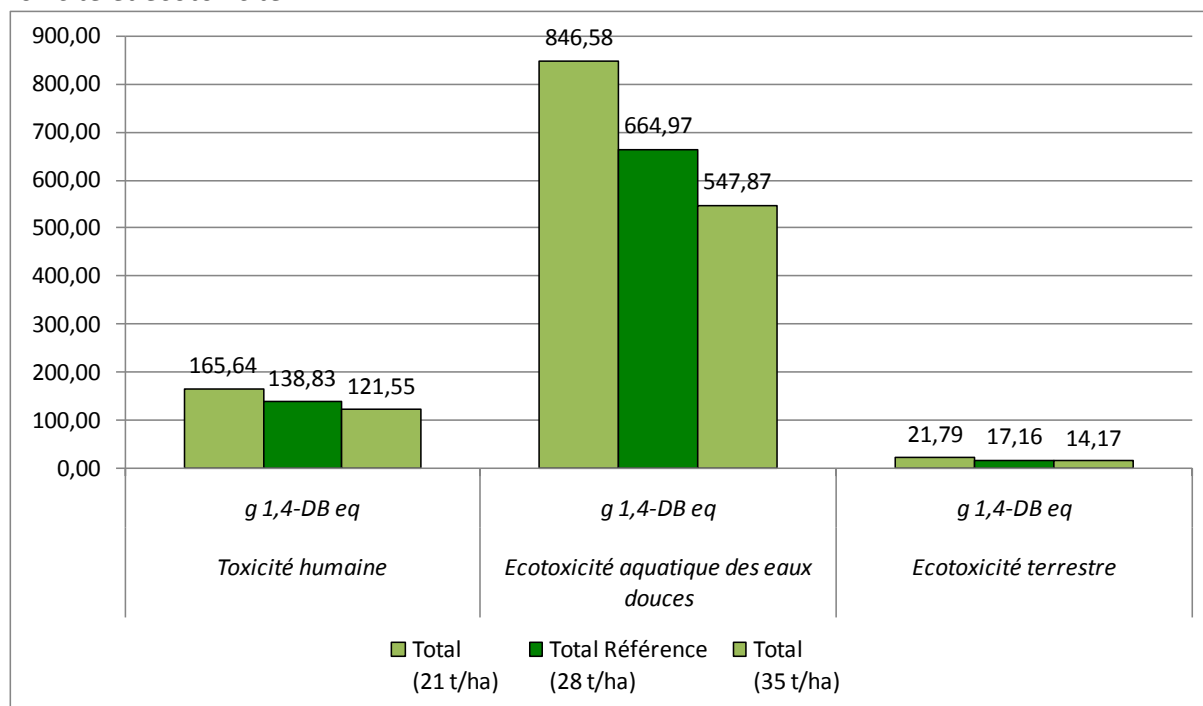
Verger SN (Souss)

Réchauffement climatique :

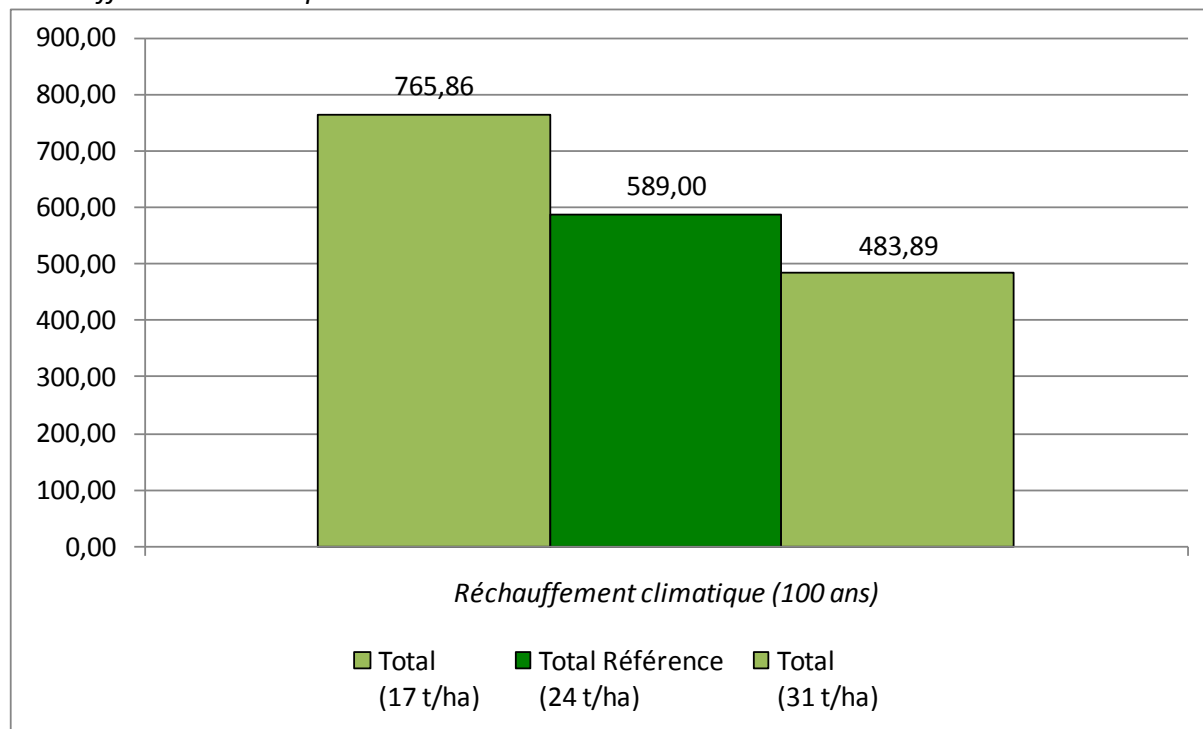


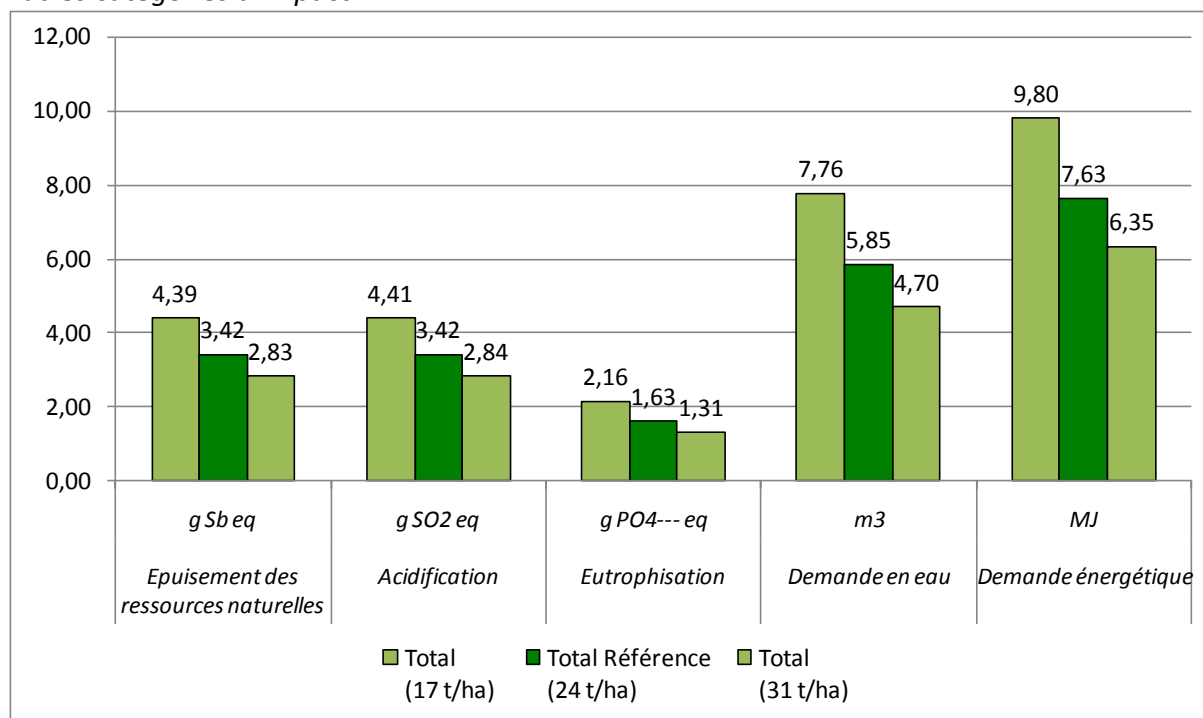
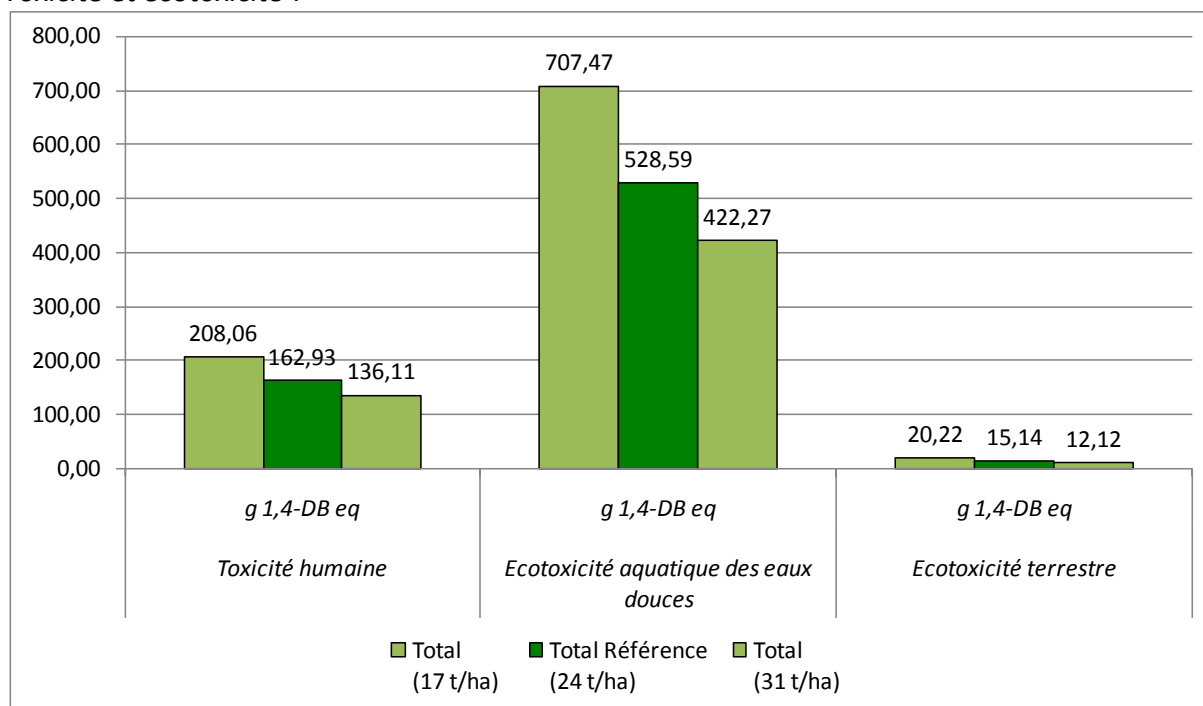
Autres catégories d'impact :



Toxicité et écotoxicité :

L'augmentation du rendement plateau réduit sensiblement les impacts potentiels sur l'environnement, et ce pour toutes les catégories d'impact, et inversement.

Verger OC (Oriental)**Réchauffement climatique :**

Autres catégories d'impact :*Toxicité et écotoxicité :*

L'augmentation du rendement plateau réduit sensiblement les impacts potentiels sur l'environnement, et ce pour toutes les catégories d'impact, et inversement.

7.2. Pesticides

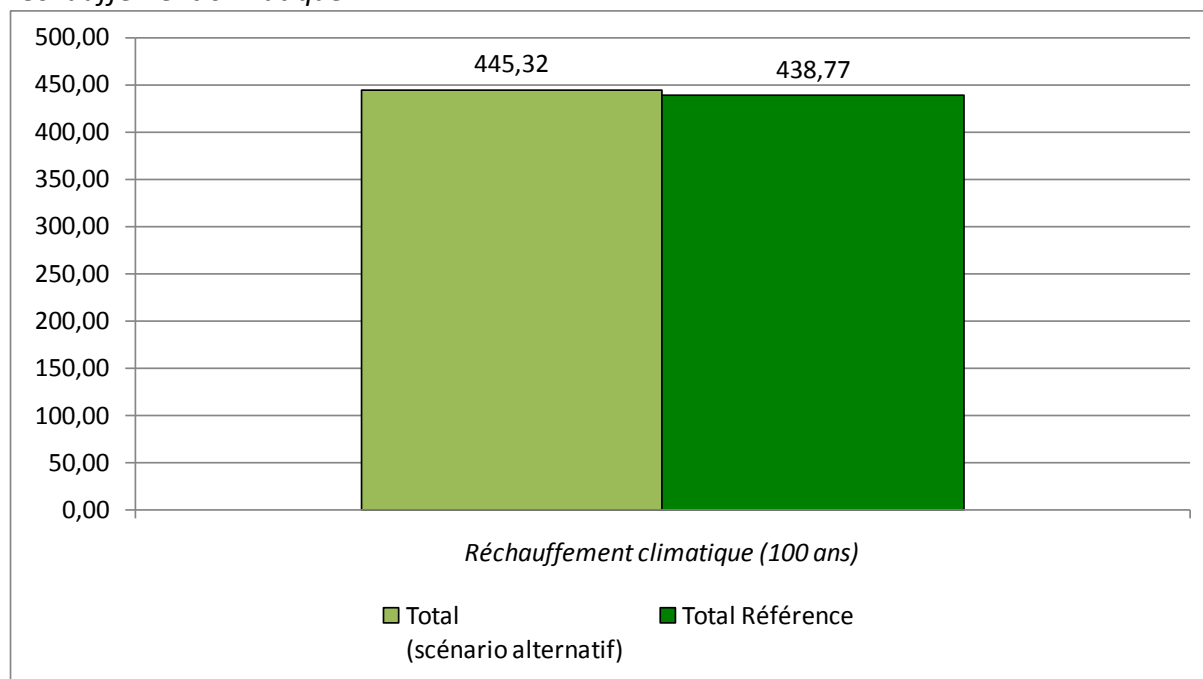
7.2.1. Influence du nombre de traitements insecticides

7.2.1.1. Traitement contre le pou de Californie

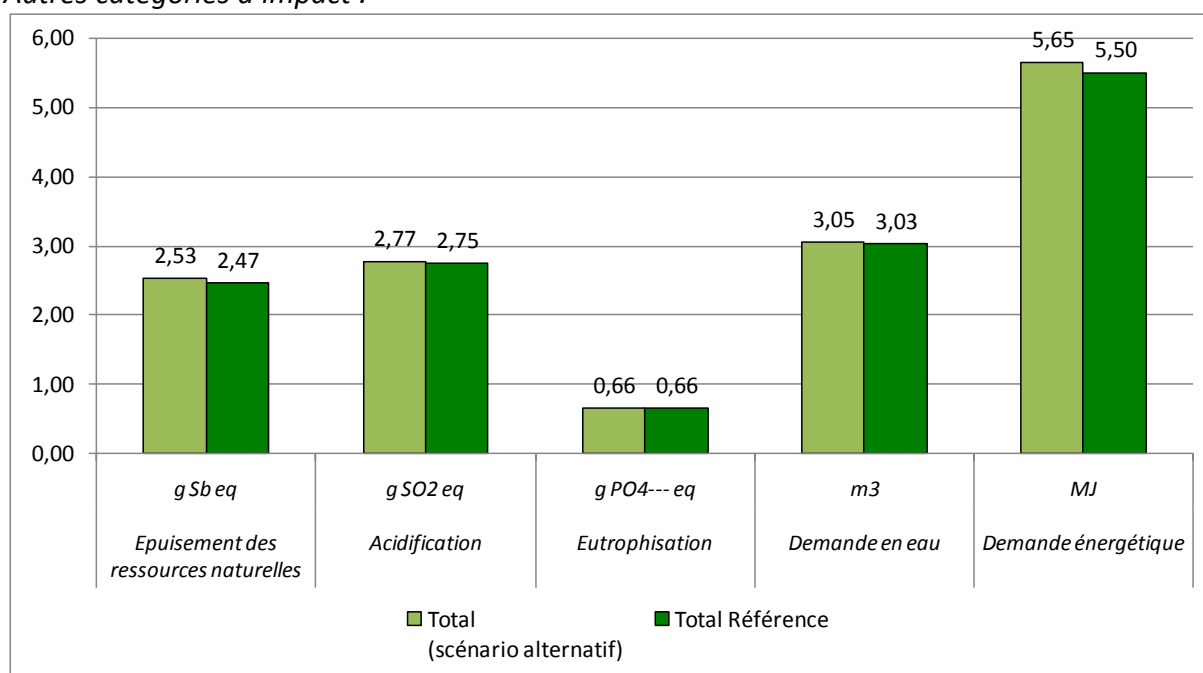
Le scénario de base considère qu'il y a un traitement contre le pou de Californie tous les 3 ans, soit 0,33 traitement par an. Nous allons étudier l'influence d'un passage à un traitement par an au lieu de 0,33.

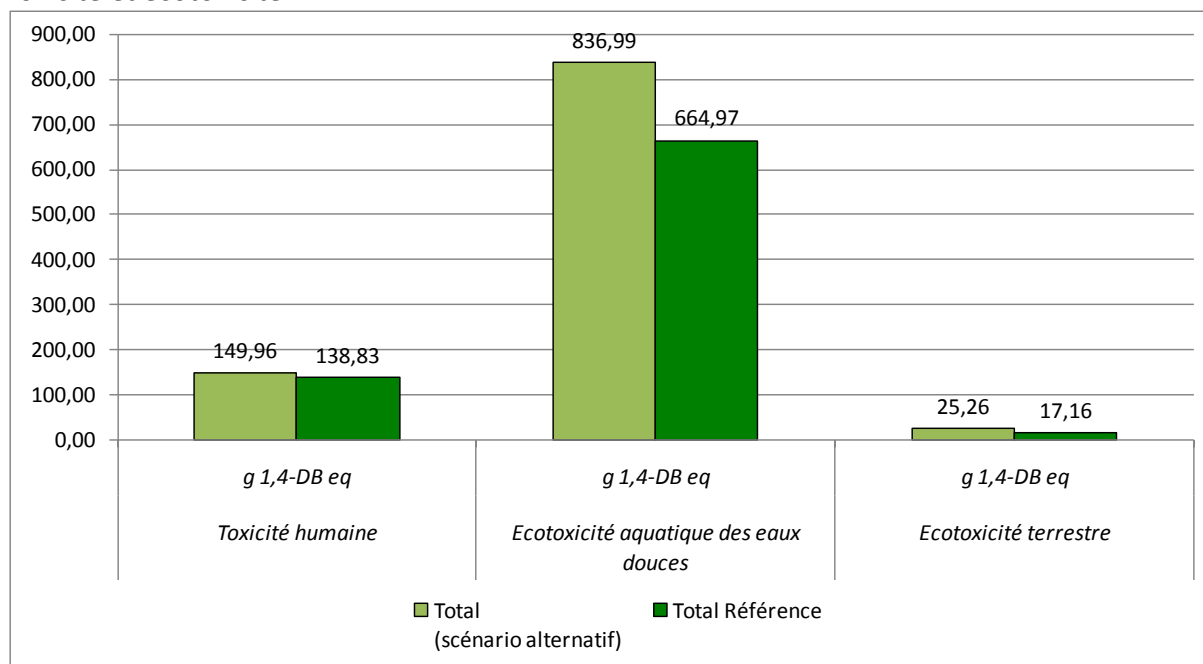
Verger SN (Souss)

Réchauffement climatique :



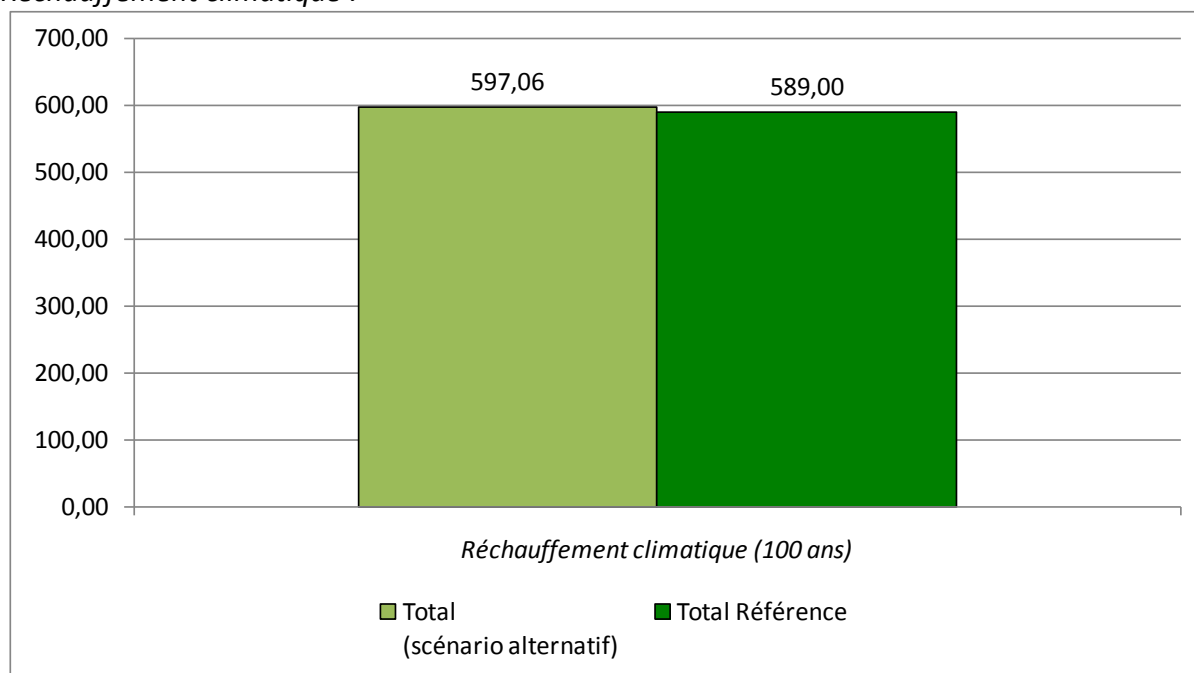
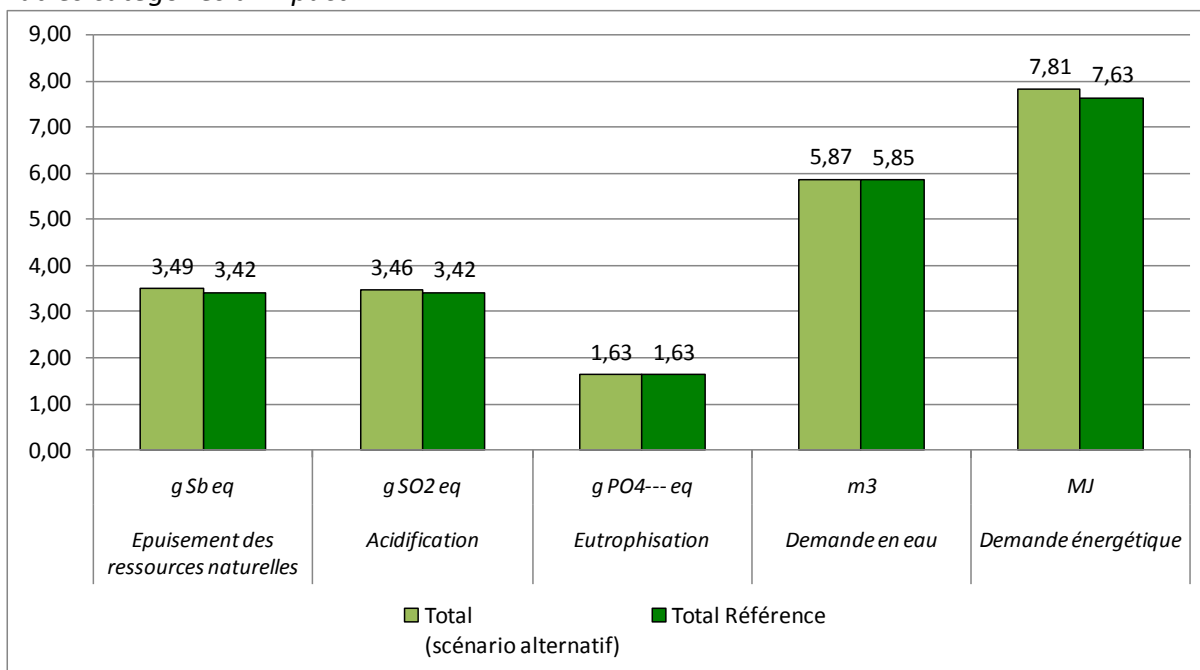
Autres catégories d'impact :

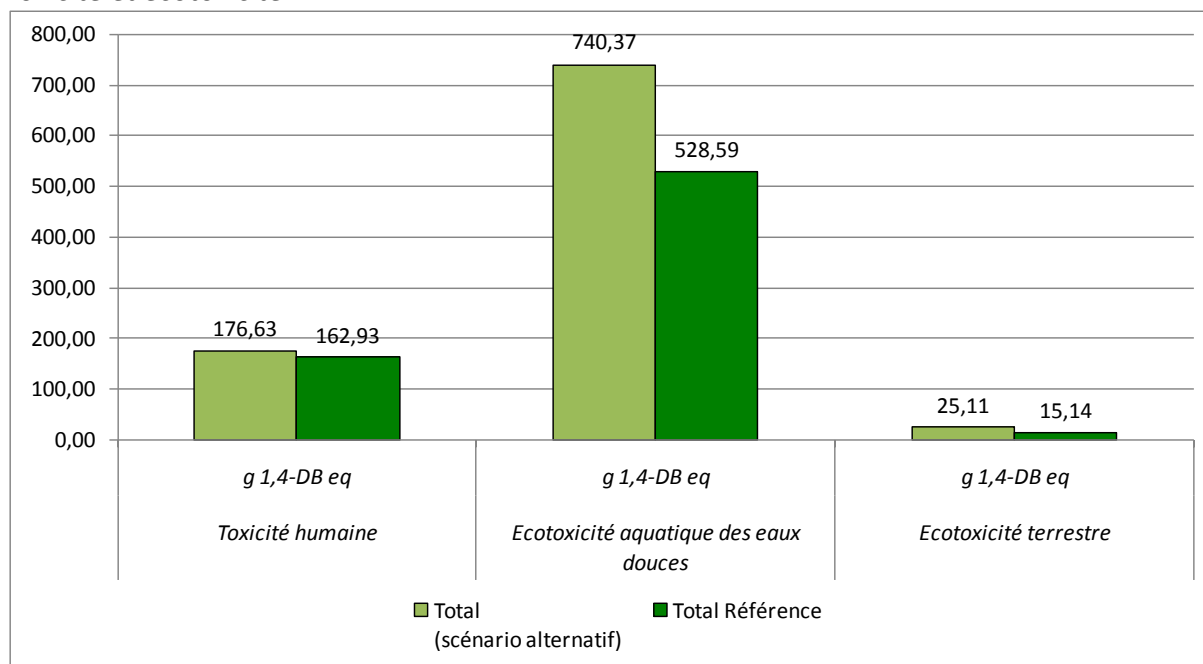


Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :**

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	2,50	2,53	2,47
Acidification	g SO2 eq	1,00	2,77	2,75
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,40	0,66	0,66
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	1,49	445,32	438,77
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	8,01	149,96	138,83
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	25,87	836,99	664,97
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	47,23	25,26	17,16
Demande en eau	m3	0,63	3,05	3,03
Demande énergétique	MJ	2,65	5,65	5,50

Les catégories d'impact de toxicité et d'écotoxicité sont très sensibles à une variation du nombre de traitements annuels effectués contre le pou de Californie : une variation de 33 % implique des variations allant de 8 % à 47 %. Cela est principalement dû à la quantité de matière active (chlorpyrifos) qui est plus importante dans ce scénario alternatif.

Verger OC (Oriental)*Réchauffement climatique :**Autres catégories d'impact :*

Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :**

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	2,22	3,49	3,42
Acidification	g SO2 eq	0,99	3,46	3,42
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,20	1,63	1,63
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	1,37	597,06	589,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	8,40	176,63	162,93
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	40,07	740,37	528,59
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	65,90	25,11	15,14
Demande en eau	m3	0,40	5,87	5,85
Demande énergétique	MJ	2,36	7,81	7,63

Les catégories d'impact de toxicité et d'écotoxicité sont très sensibles à une variation du nombre de traitements annuels effectués contre le pou de Californie : une variation de 33 % implique des variations allant de 8 % à 65 %. Cela est principalement dû à la quantité de matière active (chlorpyrifos) qui est plus importante dans ce scénario alternatif.

7.2.1.2. Traitement contre la cératite

Le scénario de base considère qu'il y a deux traitements contre la cératite par an à partir de la 6^{ème} année. Nous allons étudier l'influence d'un passage à 2,5 traitements par an au lieu de deux. Pour cela on rajoute un demi-traitement au malathion.

Verger SN (Souss)

Récapitulatif :

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	0,22	2,47	2,47
Acidification	g SO2 eq	0,09	2,75	2,75
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,04	0,66	0,66
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	0,13	439,35	438,77
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	0,28	139,23	138,83
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	1,01	671,68	664,97
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	0,05	17,17	17,16
Demande en eau	m3	0,06	3,03	3,03
Demande énergétique	MJ	0,23	5,52	5,50

Les impacts potentiels ne sont pas sensibles à une variation du nombre de traitements contre la cératite.

Verger OC (Oriental)

Récapitulatif :

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	0,20	3,42	3,42
Acidification	g SO2 eq	0,09	3,43	3,42
Eutrophisation	g PO4--- eq	0,02	1,63	1,63
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	0,12	589,71	589,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	0,30	163,41	162,93
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	1,56	536,85	528,59
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	0,07	15,15	15,14
Demande en eau	m3	0,04	5,85	5,85
Demande énergétique	MJ	0,21	7,65	7,63

Les impacts potentiels ne sont pas sensibles à une variation du nombre de traitements contre la cératite.

7.2.2. Influence du traitement herbicide sur le verger OC

Le scénario de base considère qu'il y a deux traitements herbicide (glyphosate) tous les ans et ce dès la 1^{ère} année. Nous allons étudier l'influence de la suppression du désherbage chimique sur le verger OC.

Récapitulatif :

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	-2,95	3,31	3,42
Acidification	g SO2 eq	-1,51	3,37	3,42
Eutrophisation	g PO4--- eq	-0,27	1,62	1,63
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	-1,83	578,23	589,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	-4,03	156,36	162,93
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	-0,30	527,02	528,59
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	-1,23	14,95	15,14
Demande en eau	m3	-0,64	5,81	5,85
Demande énergétique	MJ	-3,18	7,39	7,63

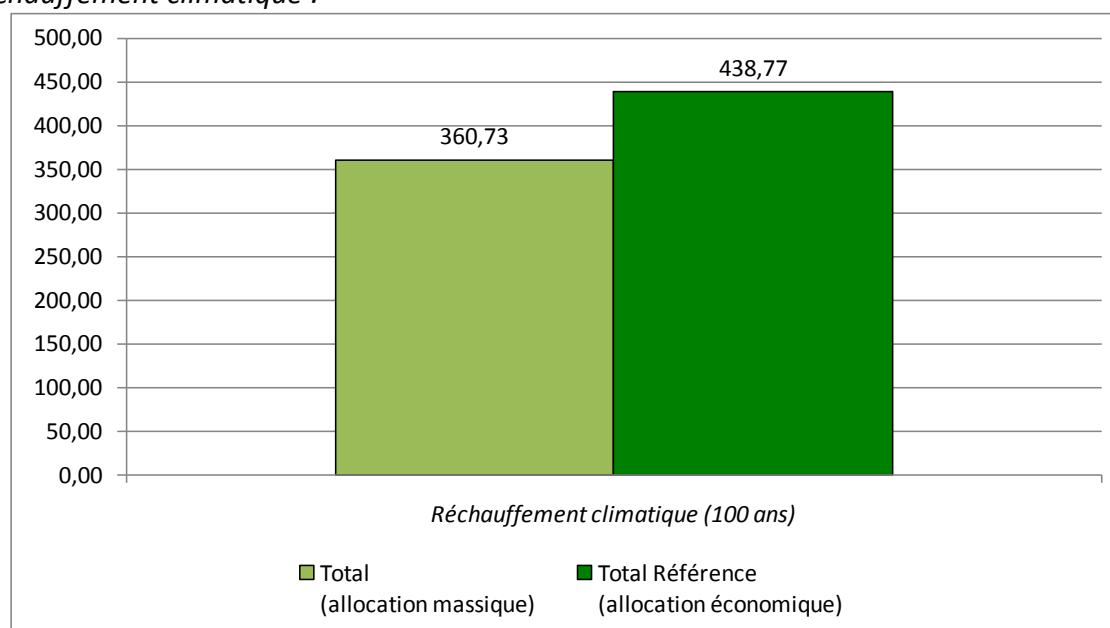
Les impacts potentiels sont légèrement sensibles à la suppression du désherbage chimique. Selon les catégories, cela va de -0,27 % à -4,03 % d'impact en moins par rapport au scénario d'origine (avec herbicide).

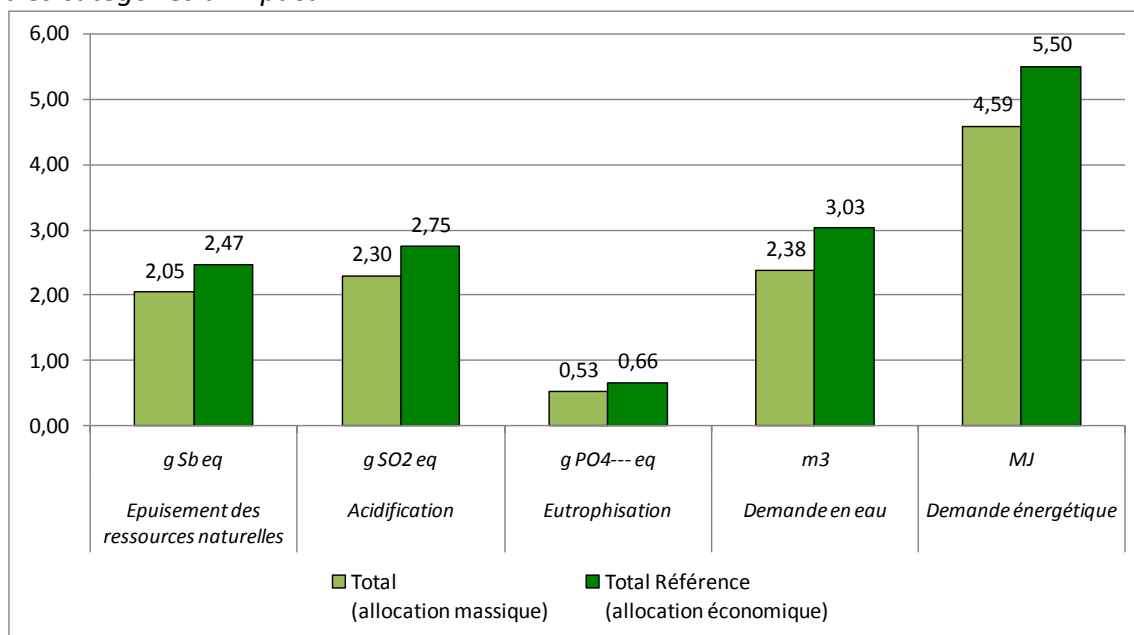
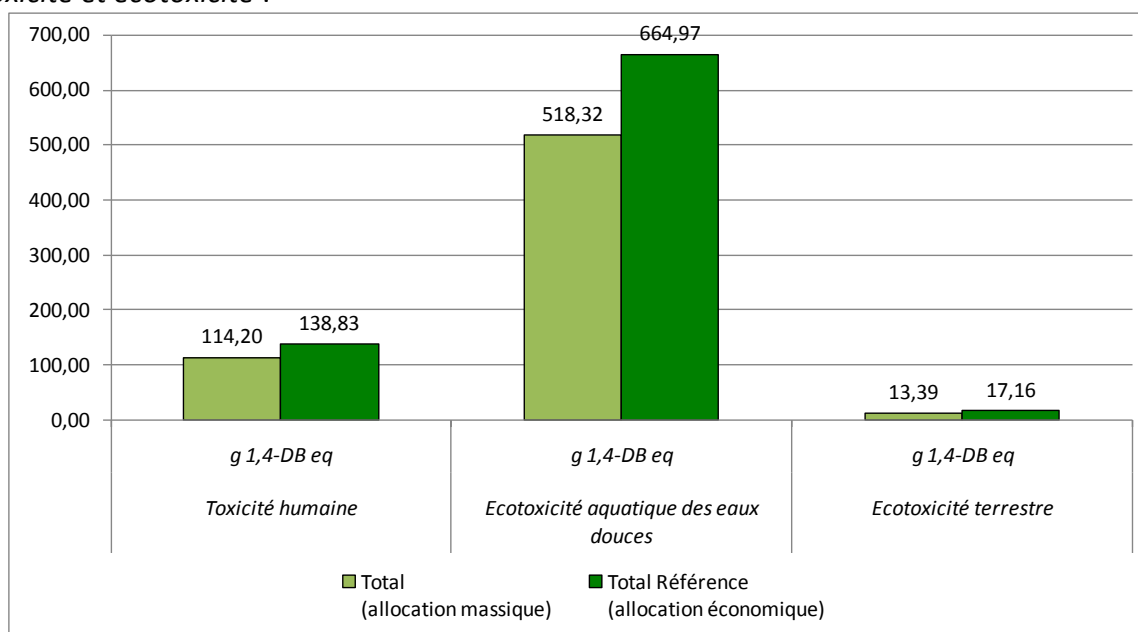
7.3. Influence de la méthode d'allocation

Nous allons étudier la sensibilité des résultats vis-à-vis du type d'allocation, à savoir économique (scénario d'origine) ou massique (scénario alternatif), pour les deux vergers.

Verger SN (Souss)

Réchauffement climatique :



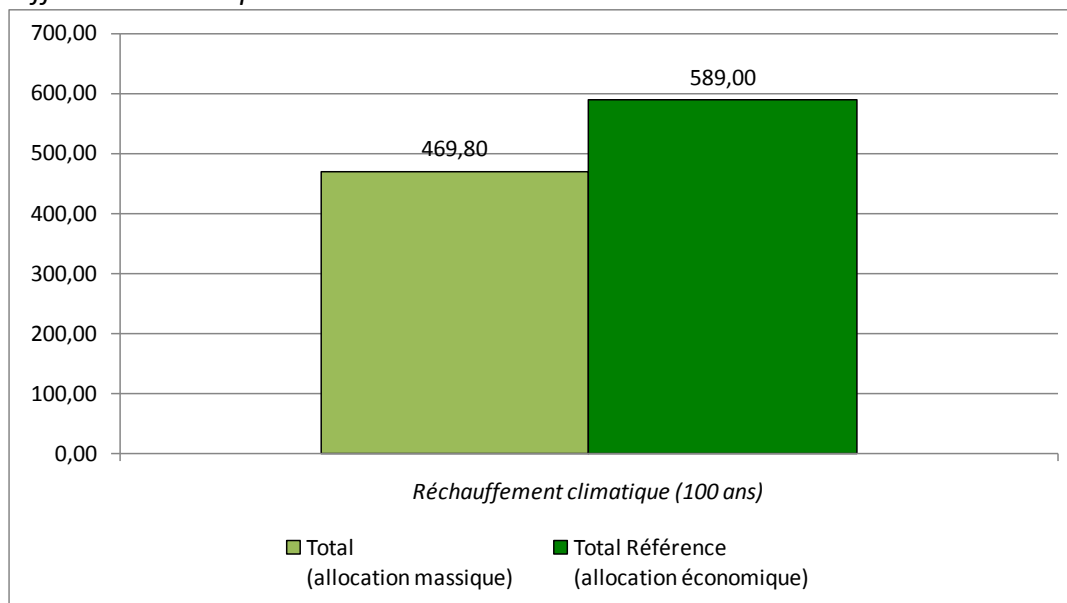
Autres catégories d'impact :*Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :*

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (allocation massique)	Total Référence (allocation économique)
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	-16,83	2,05	2,47
Acidification	g SO2 eq	-16,17	2,30	2,75
Eutrophisation	g PO4--- eq	-19,40	0,53	0,66
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	-17,79	360,73	438,77
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	-17,75	114,20	138,83
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	-22,05	518,32	664,97
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	-21,96	13,39	17,16
Demande en eau	m3	-21,38	2,38	3,03
Demande énergétique	MJ	-16,57	4,59	5,50

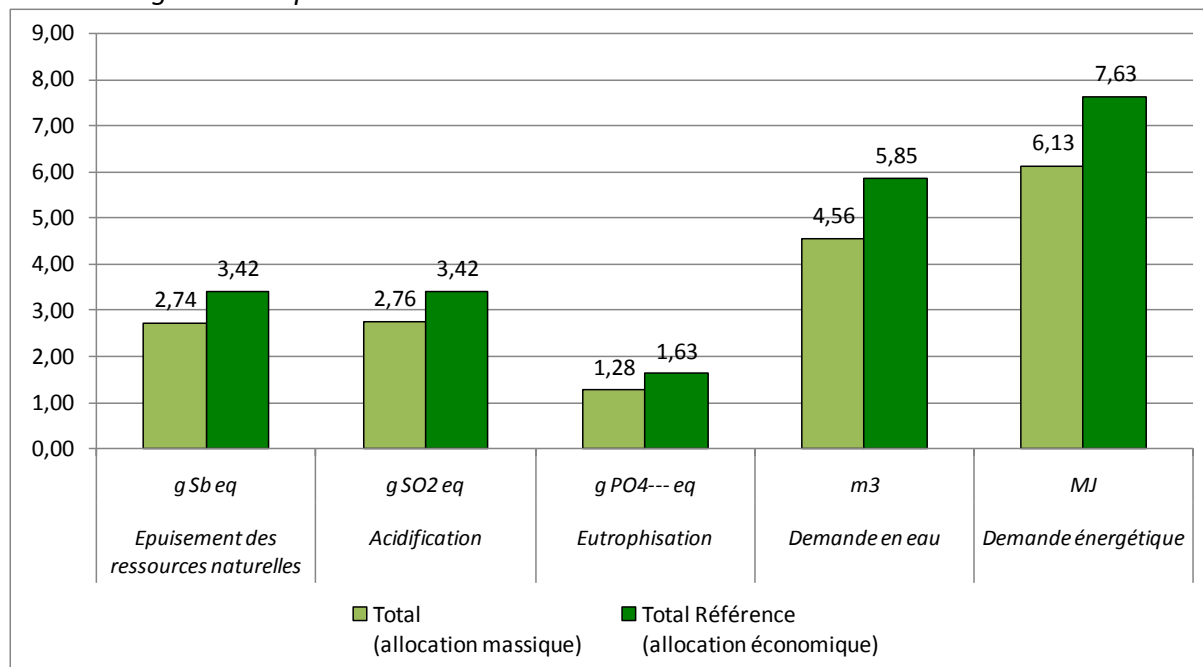
Les impacts potentiels sont sensibles au type d'allocation utilisée. Selon les catégories, cela va de -16,17 % à -22,05 % d'impact en moins par rapport au scénario d'origine (allocation économique).

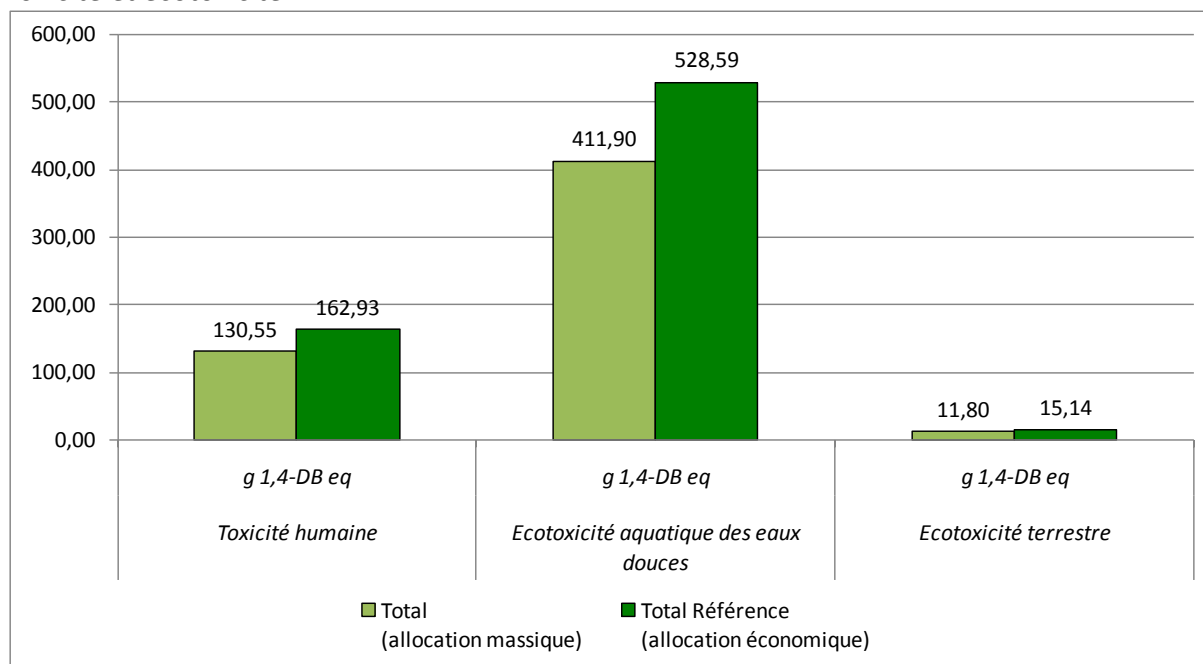
Verger OC (Oriental)

Réchauffement climatique :



Autres catégories d'impact :



Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :**

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (allocation massique)	Total Référence (allocation économique)
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	-19,86	2,74	3,42
Acidification	g SO2 eq	-19,34	2,76	3,42
Eutrophisation	g PO4--- eq	-21,50	1,28	1,63
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	-20,24	469,80	589,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	-19,87	130,55	162,93
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	-22,07	411,90	528,59
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	-22,02	11,80	15,14
Demande en eau	m3	-21,92	4,56	5,85
Demande énergétique	MJ	-19,76	6,13	7,63

Les impacts potentiels sont sensibles au type d'allocation utilisée. Selon les catégories, cela va de -19,34 % à -22,07 % d'impact en moins par rapport au scénario d'origine (allocation économique).

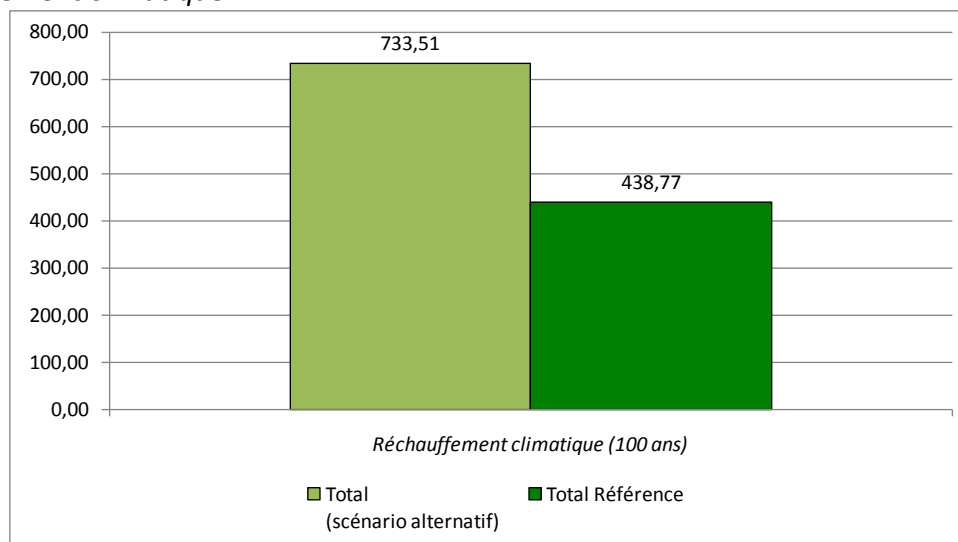
7.4. Influence des distances de transport

Nous allons étudier la sensibilité des résultats vis-à-vis des distances de transport (voies d'acheminement des petits agrumes) depuis le Maroc jusqu'au marché Saint Charles en France, et ce pour les deux vergers.

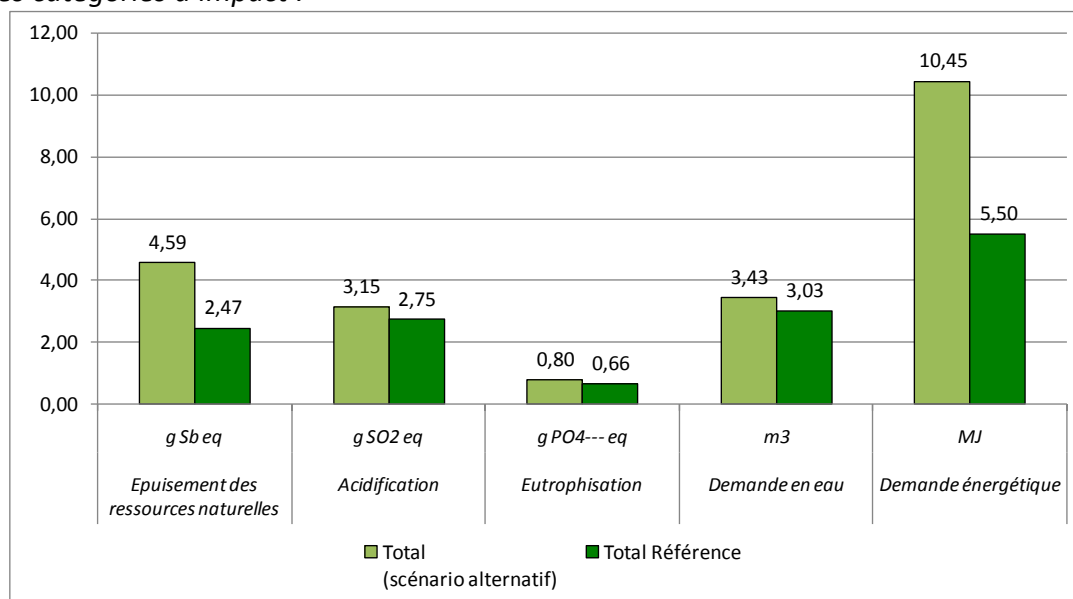
Vergers SN (Souss)

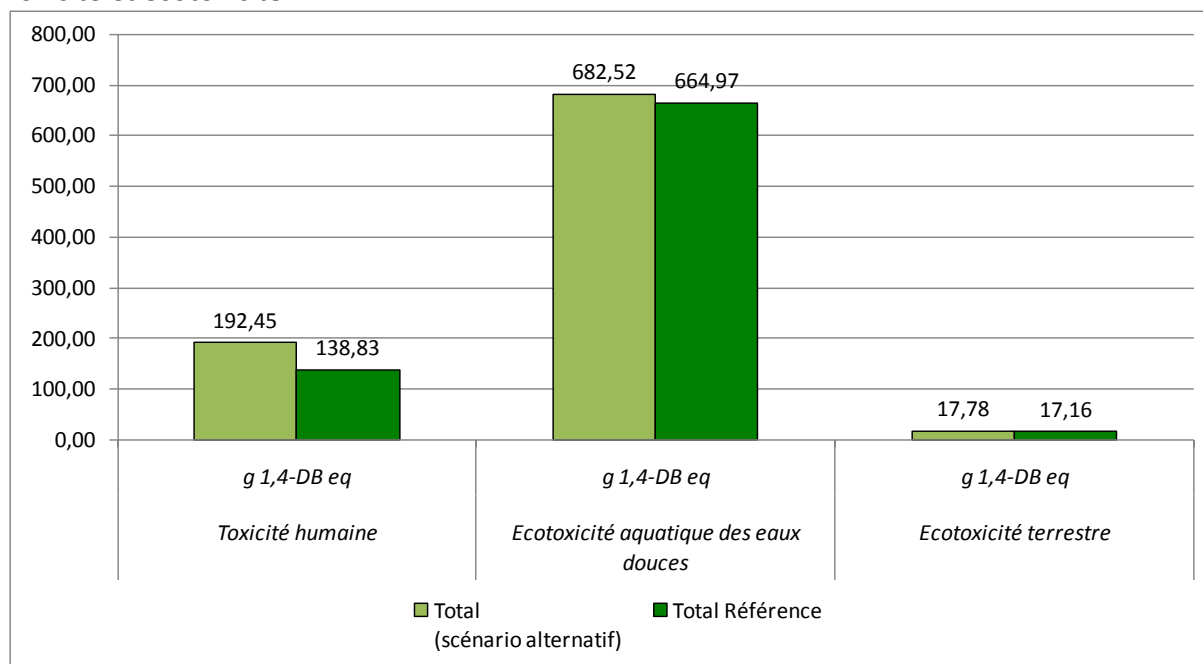
Transport	scénario de référence			scénario alternatif		
	Distance (km)	Moyen de transport	Remarques	Distance (km)	Moyen de transport	Remarques
verger-station de conditionnement	90 * 2	camion plateau	Taroudant-Agadir	90 * 2	camion plateau	Taroudant-Agadir
station de conditionnement-port marocain	10	camion frigorifique	Agadir-Agadir	791	camion frigorifique	Agadir-Tanger
port marocain-port français/espagnol	2400	bateau	Agadir-Port Vendres	60	bateau	Tanger-Algeciras
port français/espagnol-marché St Charles	40	camion frigorifique	Port Vendres-St Charles	1326	camion frigorifique	Algeciras-St Charles

Réchauffement climatique :



Autres catégories d'impact :



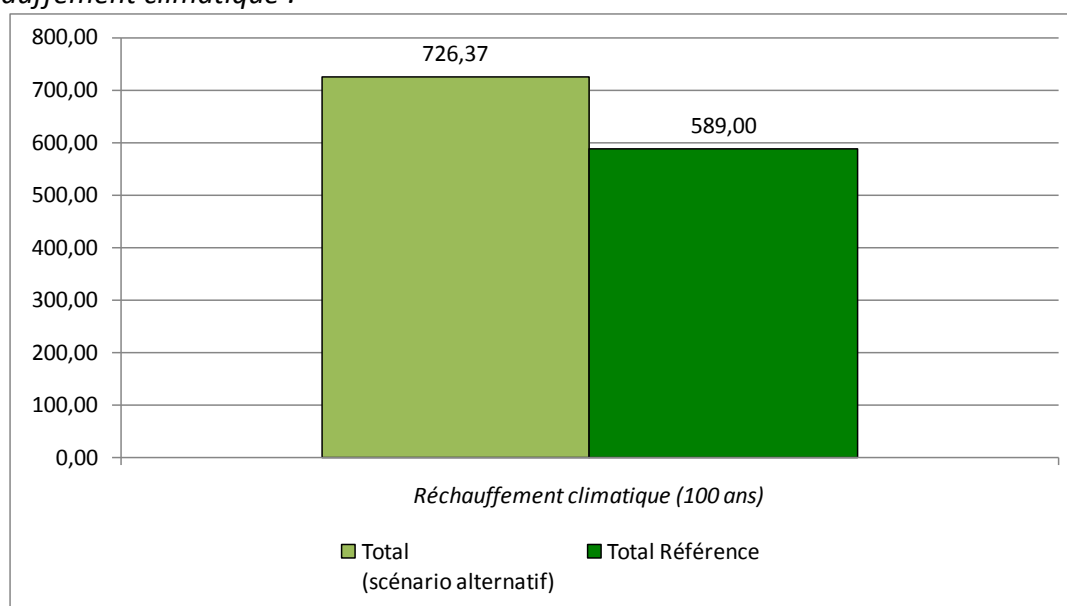
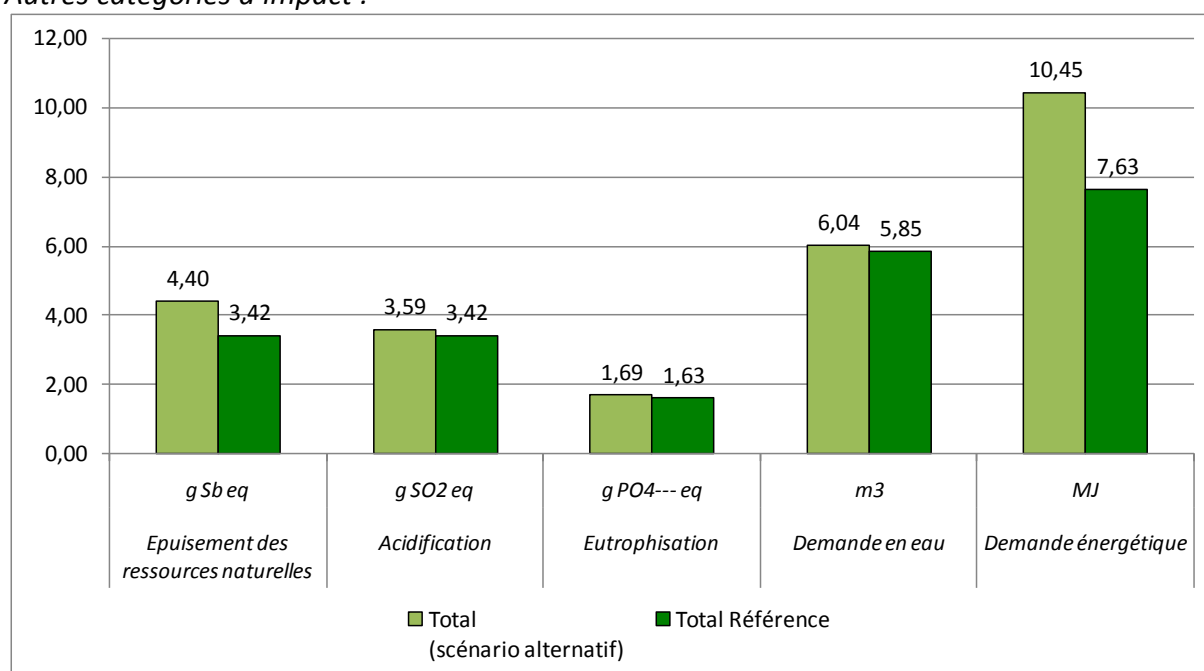
Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :**

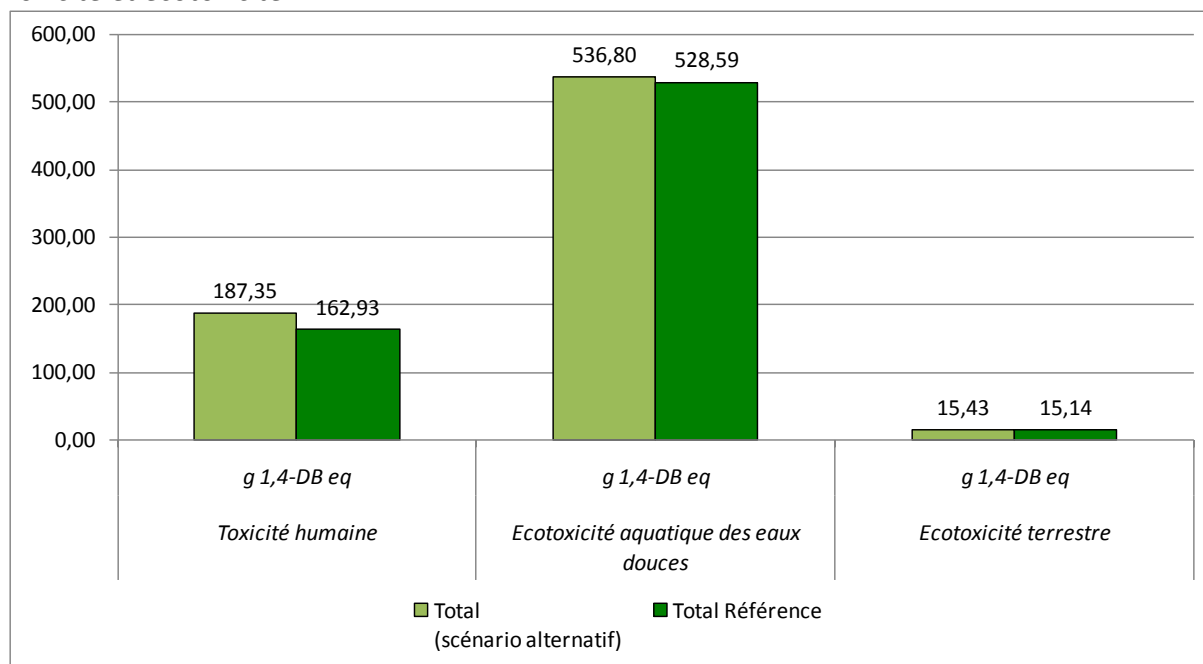
Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	86,01	4,59	2,47
Acidification	g SO2 eq	14,72	3,15	2,75
Eutrophisation	g PO4--- eq	21,53	0,80	0,66
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	67,18	733,51	438,77
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	38,62	192,45	138,83
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	2,64	682,52	664,97
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	3,63	17,78	17,16
Demande en eau	m3	13,48	3,43	3,03
Demande énergétique	MJ	89,79	10,45	5,50

Les impacts potentiels sont plus ou moins sensibles à une variation des distances de transport. Selon les catégories, cela va de 2,64 % à 89,79 % d'impact en plus par rapport au scénario d'origine.

Verger OC (Oriental)

Transport	scénario de référence				scénario alternatif		
	Distance (km)	Moyen de transport	Remarques		Distance (km)	Moyen de transport	Remarques
verger-station de conditionnement	2 * 30	camion plateau	Berkane-Berkane		2 * 30	camion plateau	Berkane-Berkane
station de conditionnement-port marocain	80	camion frigorifique	Berkane-Nador		80	camion frigorifique	Berkane-Nador
port marocain-port français/espagnol	1400	bateau	Nador-Port Vendres		185	bateau	Nador-Almería
port français/espagnol-marché St Charles	40	camion frigorifique	Port Vendres-St Charles		1012	camion frigorifique	Almería-St Charles

Réchauffement climatique :**Autres catégories d'impact :**

Toxicité et écotoxicité :**Récapitulatif :**

Catégorie d'impact	Unité	% de différence avec la référence	Total (scénario alternatif)	Total Référence
Epuisement des ressources naturelles	g Sb eq	28,97	4,40	3,42
Acidification	g SO2 eq	4,77	3,59	3,42
Eutrophisation	g PO4--- eq	3,98	1,69	1,63
Réchauffement climatique (100 ans)	g CO2 eq	23,32	726,37	589,00
Toxicité humaine	g 1,4-DB eq	14,99	187,35	162,93
Ecotoxicité aquatique des eaux douces	g 1,4-DB eq	1,55	536,80	528,59
Ecotoxicité terrestre	g 1,4-DB eq	1,91	15,43	15,14
Demande en eau	m3	3,26	6,04	5,85
Demande énergétique	MJ	36,84	10,45	7,63

Les impacts potentiels sont plus ou moins sensibles à une variation des distances de transport. Selon les catégories, cela va de 1,55 % à 36,84 % d'impact en plus par rapport au scénario d'origine.

Bilan de l'analyse de sensibilité

Rendement :

Les résultats d'analyse de contribution sont sensibles à des variations de rendement du verger au cours de sa vie. En effet, les impacts potentiels sont exprimés par unité fonctionnelle (1 kg de petits agrumes) et sont donc directement proportionnels aux rendements.

Pesticides :

La toxicité et l'écotoxicité sont sensibles à des variations de traitements pesticides. Les résultats dépendent directement de la toxicité de la molécule (matière active) employée. En l'occurrence, deux substances actives caractérisées par la méthode CML 2000 ont un fort impact, il s'agit du méthomyl et du chlorpyrifos utilisées respectivement contre la mineuse des agrumes et le pou de Californie.

Type d'allocation :

Les impacts potentiels sont tous très sensibles au type d'allocation utilisée. Pour la présente étude, une allocation économique a été réalisée. Etant donné la sensibilité des résultats vis-à-vis de l'allocation, il est essentiel d'actualiser les prix d'export et de marché local sur une période assez longue (plusieurs années).

Distances de transport :

Les impacts potentiels sont globalement sensibles à une variation des distances de transport. Les deux scénarios testés pour le système SN proviennent d'une enquête auprès d'experts en logistique agrumes du Maroc (Heitz, 2010). Cependant, les scénarios testés pour le système OC doivent être validés auprès d'experts marocains.

Références

Sites internet :

<http://web2.eacce.org.ma/>
<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>
<http://fr.allmetsat.com/climat/maroc>
http://www.thermexcel.com/french/ressourc/mot_pump.htm
<http://www.ksb.com/ksb-en/KSB-EasySelect/>
<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>
<http://www.istichar.ma/electricity.asp.html>
<http://www.elboura.com/>

Publications :

ACTA (Association de coordination technique agricole), 2008. Index phytosanitaire, 44^{ème} édition, Alice Couteux et Violaine Lejeune.

Avraamides et Fatta, 2006. Life Cycle Assessment (LCA) as a decision support tool (DST) for the ecoproduction of olive oil, Implementation of Life Cycle Inventory in Lythrodontas region of Cyprus (Task 3.2). Gaia, Laboratory of Environmental Engineering, University of Cyprus.

Beccali, Cellura, Ludicello, Mistretta, 2009. Resource Consumption and Environmental Impacts of the Agrofood Sector: Life Cycle Assessment of Italian Citrus-Based Products. Environmental Management 43, pages 707-724.

Beccali, Cellura, Ludicello, Mistretta, 2010. Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. Journal of Environmental Management 91(7), pages 1415-28.

Bouaziz et Belabbes, 2002. Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc. Revue H.T.E, n°124, pages 57-72.

Brentrup, Küsters, Lammel, Kuhlmann, 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. Int. J. LCA 5 (6), pages 349-357.

Clemmens, 2002. Measuring and improving irrigation system performance at the field level. Transactions of the ASAE 22 (8) : pages 89-96.

Coltro, Mourad, Kletecke, Mendonça, Germer, 2009. Assessing the environmental profile of orange production in Brazil. Int J Life Cycle Assessment 14, pages 656-664.

Fourtassi, 1998. Récolte des agrumes pour déverdisage et conditionnement et importance des écarts de triage.

Heitz, 2010. Evaluation environnementale de fruits d'importation par l'Analyse du Cycle de Vie : le cas des petits agrumes produits au Maroc et consommés en France. Mémoire d'ingénieur de fin d'études (AgroParisTech).

Houmy K., Yadini M., Ramah M. Situation actuelle des techniques de traitement phytosanitaire des agrumes au Maroc. Revue HTE n°98-4.

M'Hirit, Yassin, 1993. A propos de l'utilisation des données climatiques en matière de gestion et de conservation de la forêt. Homme terre et eaux. Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires 23 (93), pages 58-71.

Loussert, 1989. Les agrumes, volume 2 Production. Techniques agricoles méditerranéennes. Editions Scientifiques Universitaires, Technique et Documentation Lavoisier.

Manoli A., 2006. Water Development Department, Electromechanical Section, Personal Communication, 31/05/2006.

Marchal, Lacoëuilhe, 1969. Bilan mineral du mandarinier 'Wilking' – Influence de la production et de l'état végétatif de l'arbre sur sa composition minérale. Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer. Fruits, Vol.24, n°6, p299-317.

- Marchal et al., 1988. Influence des porte-greffes sur la composition organo-minérale des clémentines. Réunion annuelle IRFA-CIRAD.
- Milà i Canals, L., 2003. Contributions to LCA Methodology for Agricultural Systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment. Ph.D. Thesis.
- Milà i Canals, L., Burnip, G.M. y Cowell, S.J., 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(2-4), pages 226-238.
- Mouron, Nemecek, Scholz, Weber, 2006. Management influence on environmental impacts in an apple production system on Swiss fruit farm: Combining life cycle assessment with statistical risk assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, pages 311-322.
- Nadori, Nhami, 2005. La culture du clémentinier au Maroc : évolution et perspectives. *Revue HTE* n° 132, pages 28-36.
- Nemecek, Kägi, 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent report n°15.
- Ollitrault, Luro, 1997. In : Charrier André (ed.), Jacquot Michel (ed.), Hamon Serge (ed.), Nicolas Dominique (ed.). *L'amélioration des plantes tropicales*. Montpellier : CIRAD, pages 13-36.
- PNTTA n°145 (Aït Houssa et al.), 2006. Stratégie de gestion et coût d'utilisation du tracteur aux Domaines Agricoles du Gharb. Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture. Pages 1-4.
- Praloran, 1971. Les Agrumes, XXI-XXII. Techniques agricoles et productions tropicales. G.-P. Maisonneuve & Larose, Paris Vè. Pages 393-395.
- Quiñones, Martínez-Alcántara, Legaz, 2007. *Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122, p399-409.
- Ramos, Agut, Lidón, 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental pollution* n° 118, pages 215-223.
- Recensement général des agrumes (RGA) 2006, octobre 2007. Direction de la Programmation et des Affaires Economiques, Division des Statistiques et de l'Informatique.
- Ribal, Sanjuan, Clemente, Fenollosa, 2009. Medición de la ecoeficiencia en procesos productivos en el sector agrario. Caso de estudio sobre producción de cítricos. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 9(1), pages 125-148.
- Sanjuán, Úbeda, Clemente, Mulet, 2005. LCA of integrated orange production in the Comunidad Valenciana (Spain). *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, Vol.04, Nos.02, pages 163-177.
- Skiredj, Walali Loudyi, Hassan Elattir, 2003. Les agrumes. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat. PNTTA n°109.
- SODEA (Société de développement agricole du Maroc), 2005. Coût des opérations mécaniques sur divers spéculations rubrique gasoil, département Sidi Kacem, Gharb.
- Soler Aznar, Soler Fayos, 2006. Cítricos. Variedades y técnicas de cultivo. Fundación Ruralcaja Valencia.
- Stone, Hilborn, 2000. Equation universelle des pertes en terre (USLE). Les ressources du monde entier au service de l'Ontario rural. Fiche technique.
- Vannière, 1992. *Essai porte-greffe nutrition du clémentinier en Corse : I-Effet porte-greffe sur le comportement agronomique du clémentinier* SRA 63. Fruits, Vol.47, n°47, p38.

ANNEXES

Annexe 1 : Allocation économique -----	133
Annexe 2 : Coefficients culturaux (petits agrumes) au cours d'une année de production	134
Annexe 3 : Table FAO répertoriant les valeurs de p selon la latitude -----	135
Annexe 4 : Programme détaillé de la fertilisation du verger SN-----	136
Annexe 5 : Programme détaillé de la fertilisation du verger OC-----	138
Annexe 6 : Caractéristiques des pesticides utilisés en agrumiculture -----	140
Annexe 7 : Transport des fertilisants et des pesticides depuis le lieu de fabrication jusqu'au lieu d'utilisation-----	149
Annexe 8 : Exportation annuelle d'azote dans la structure d'un arbre -----	151
Annexe 9 : Décomposition d'un kilogramme de clémentines issues de la vie entière du verger-----	152
Annexe 10 : Machines agricoles utilisées sur le verger SN -----	154
Annexe 11 : Machines agricoles utilisées sur le verger OC-----	155
Annexe 12 : Plan d'une station de conditionnement -----	156
Annexe 13 : Chaîne de conditionnement des petits agrumes -----	157

Annexe 1 : Allocation économique**Système SN (Souss) :**

<u>Années 4-25</u>	Destination fruits	Quantité	Prix	Prix total	Allocation	Paramètre global
	(%)	(kg)	(DH/kg)	(DH)	économique (%)	sous Simapro
Export	60	0,6	3	1,8	85,7	all_eco_exp
Marché local	30	0,3	1	0,3	14,3	all_eco_loc
Pertes	10	0,1	0	0	0	-
Total	100	1		2,1	100	

Système OC (Oriental) :

<u>Années 4-40</u>	Destination fruits	Quantité	Prix	Prix total	Allocation	Paramètre global
	(%)	(kg)	(DH/kg)	(DH)	économique (%)	sous Simapro
Export	60	0,6	3	1,8	85,7	all_eco_exp
Marché local	30	0,3	1	0,3	14,3	all_eco_loc
Pertes	10	0,1	0	0	0	-
Total	100	1		2,1	100	

Annexe 2 : Coefficients culturaux (petits agrumes) au cours d'une année de production

I – 2 – Coefficients pour calcul ds besoins en eau des Agrumes :

			Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep
Ev Moyenne / jour / semaine / mois														
Kp			0.70	0.75	0.75	0.65	0.75	0.75	0.60	0.60	0.60	0.60	0.65	0.60
Kc	Avec désherbage	Couvert + 70%	0.70	0.65	0.65	0.75	0.60	0.65	0.65	0.65	0.70	0.70	0.70	0.70
		Couvert + 50%	0.65	0.60	0.60	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.65	0.55	0.55	0.55
		Couvert + 20%	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.55	0.55
	Sans désherbage	Couvert + 70%	0.85	0.85	0.80	0.70	0.75	1.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85
		Couvert + 50%	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75	0.75	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85
		Couvert + 20%	0.55	0.90	0.90	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95
ETM = ETC	Avec désherbage													
	Sans désherbage													

ETM = ETC = Evapotranspiration maximal (Besoins des Cultures) en (mm).

Ev (mm) = Evaporation (relevé bac)

K = Coefficient faisant intervenir Kp et Kc ($K = Kp \times Kc$)

Kc = Coefficient de la culture

Kp = Coefficient environnement climatique.

Remarque : ETM dans le tableau à
Remplir chaque jour où chaque
Semaine où chaque mois.

Calcul des besoins en eau de la culture.

$$\boxed{ETM = ETC = Ev \times Kp \times Kc} \Rightarrow \boxed{\text{Temps d'irrigation} = \frac{ETM}{\text{Pluviométrie horaire}}}$$

Annexe 3 : Table FAO répertoriant les valeurs de p selon la latitude

Latitude	North	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
	South	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June
60°		.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
55		.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
50		.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
45		.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
40		.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35		.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30		.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31	.30	.28	.26	.24	.23
25		.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24
20		.25	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.29	.28	.26	.25	.25
15		.26	.26	.27	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.25
10		.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.26
5		.27	.27	.27	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
0		.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27

La province de Berkane est située à 35°N (verger OC).

La province de Taroudant est située à 30°N (verger SN).

Annexe 4 : Programme détaillé de la fertilisation du verger SN**Année 1 :**

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	68,8	23,0	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	16,4	2,0	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	16,4	-	10	-
Sulfate de potasse	48% K2O	31,3	-	-	15
Total			25	10	15

Année 2 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	110,6	37,0	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	24,6	3,0	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	24,6	-	15	-
Sulfate de potasse	48% K2O	62,5	-	-	30
Total			40	15	30

Année 3 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	152,4	51,1	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	32,8	3,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	32,8	-	20	-
Sulfate de potasse	48% K2O	104,2	-	-	50
Total			55	20	50

Année 4 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	185,8	62,3	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	41,0	4,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	41,0	-	25	-
Sulfate de potasse	48% K2O	125	-	-	60
Urée	46% N	10,9	5	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	21,7	2,8	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	21,7	-	-	10
Total			75	25	70

Année 5 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	238,4	79,9	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	49,2	5,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	49,2	-	30	-
Sulfate de potasse	48% K2O	177,1	-	-	85
Urée	46% N	21,7	10	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	32,6	4,2	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	32,6	-	-	15
Total			100	30	100

Année 6 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	305,9	102,5	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	57,4	6,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	57,4	-	35	-
Sulfate de potasse	48% K2O	229,2	-	-	110
Urée	46% N	32,6	15	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	43,5	5,7	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	43,5	-	-	20
Total			130	35	130

Année 7 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	388,3	130,1	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	65,6	7,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	65,6	-	40	-
Sulfate de potasse	48% K2O	281,3	-	-	135
Urée	46% N	32,6	15	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	54,3	7,1	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	54,3	-	-	25
Total			160	40	160

Année 8 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	459,9	154,1	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	73,8	8,9	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	73,8	-	45	-
Sulfate de potasse	48% K2O	333,3	-	-	160
Urée	46% N	32,6	15	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	54,3	7,1	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	54,3	-	-	25
Total			185	45	185

Années 9-25 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	501,8	168,1	-	-
M.A.P (N)	12-61-0	82,0	9,8	-	-
M.A.P (P2O5)	12-61-0	82,0	-	50	-
Sulfate de potasse	48% K2O	364,6	-	-	175
Urée	46% N	32,6	15	-	-
Nitrate de potasse (N)	13-0-46	54,3	7,1	-	-
Nitrate de potasse (K2O)	13-0-46	54,3	-	-	25
Total			200	50	200

Annexe 5 : Programme détaillé de la fertilisation du verger OC**Année 1 :**

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	50,4	16,9	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	15,0	-	7	-
Sulfate de potasse	48% K2O	21,1	-	-	10
		Total	17	7	10

Année 2 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	80,6	27,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	22,5	-	10	-
Sulfate de potasse	48% K2O	42,2	-	-	20
		Total	27	10	20

Année 3 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	110,8	37,1	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	30,0	-	14	-
Sulfate de potasse	48% K2O	70,3	-	-	34
		Total	37	14	34

Année 4 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	151,1	50,6	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	37,5	-	17	-
Sulfate de potasse	48% K2O	98,4	-	-	47
		Total	51	17	47

Année 5 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	201,5	67,5	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	45,0	-	20	-
Sulfate de potasse	48% K2O	140,6	-	-	68
		Total	68	20	68

Année 6 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	261,9	87,8	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	52,5	-	24	-
Sulfate de potasse	48% K2O	182,8	-	-	88
		Total	88	24	88

Année 7 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	322,4	108,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	62,2	-	28	-
Sulfate de potasse	48% K2O	225,0	-	-	108
		Total	108	28	108

Année 8 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	372,8	124,9	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	73,3	-	33	-
Sulfate de potasse	48% K2O	260,2	-	-	125
Total			125	33	125

Année 9 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	432,8	145,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	84,4	-	38	-
Sulfate de potasse	48% K2O	302,1	-	-	145
Total			145	38	145

Année 10 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	507,5	170,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	95,6	-	43	-
Sulfate de potasse	48% K2O	354,2	-	-	170
Total			170	43	170

Année 11 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	537,3	180,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	100,0	-	45	-
Sulfate de potasse	48% K2O	375,0	-	-	180
Total			180	45	180

Années 12-40 :

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Ammonitrate	33,5% N	537,3	180,0	-	-
Superphosphate triple	45% P2O5	100,0	-	45	-
Sulfate de potasse	48% K2O	375,0	-	-	180
Total			180	45	180

Annexe 6 : Caractéristiques des pesticides utilisés en agrumiculture

Sites internet consultés :

<http://amaroc-agro.com/produits/produits-pesticides-herbicides-elafruit.php>
http://www.aci-algerie.com/index.php/aci/produits/oligolements_et_correcteurs_de_carence
http://www.alfachimie.com/home.php?mod=fiche_produit&id_prod=56
<http://www.casma.ma/maroc/gammeproduits/phytosanitaires/phytosanitaires.html>
http://www.saoas-maroc.com/home.php?mod=fiche_produit&id_prod=74
http://www.syngenta-agro.fr/synweb/produit_fiche_1481_filtre_214_1_AGRAL-90.aspx
<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>
<http://www.belchim.com/cms/publish/content/showpage.asp?pageid=632>
<http://www.nufarm.com/FRAg/CORASILEP>
<http://www.syngenta.ma/Evisect.asp>
<http://www.cooperses.com/index.php/gardenrange/lebaycid-liquid.html>
http://www.bayercropscience.ma/bcsweb/BCS_MA_Internet.nsf/ID/FR_Acueil

Caractéristiques des pesticides utilisés sur agrumes :

Utilisation	Spécialité commerciale	Substance(s) active (s)	Teneur	Dose
Régulateur de croissance	ACCEL	Acide gibbérellique	20 pc	1 g/hl
	AGIBBELLINE	Acide gibbérellique [GA3]	10 pc	1 à 2 comprimés/hl
	ALCO CITRUS FIX	2,4-D	450 g/l	16 ppm ou 3,6 cc/hl
	BERELEX	Acide gibbérellique [GA3]	10 pc	1 à 2 comprimés/hl
	CITRIMAX	2,4-DP	50 g/l	100 cc/hl
	CITROFIX	2,4-D [esther iso butylique]	16 g/l	100 cc/hl
	FENGIB	Acide gibbérellique et phénothiol	(5 et 10) g/l	75 à 100 cc/hl
	GIBEFOL	Acide gibbérellique [GA3]	10 pc	1 à 2 comprimés/hl
	GIBEL	Acide gibbérellique [GA3]	1 g/comprimé	10 à 20 ppm
	GREENTON	Ac Naphtylacétique	0,45 pc	60 g/hl
	MAXIM	Triclopyr	100 g/l	1,5 pastilles/hl

Dicotylédones annuelles	PROGIB	Acide gibbérellique [GA3]	10 pc	1 à 2,5 comprimés/hl
	PROGIBB TABLETTE	Acide gibbérellique [GA3]	20 pc	5 g/hl
	BASTA F1	Glufosinate-ammonium	150 g/l	3 l/ha
	CENTAURE	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	CLINIC	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	GESATOP 500 FW	Simazine	50 pc	3 à 5 l/ha
	GRAMOXONE	Paraquat	200 g/l	2 à 4 l/ha
	HERITROL FORTE	Aminotriazole, 2,4-MCPA et atrazine	(400, 100 et 200) g/l	4 à 8 l/ha
	HERZOL FORTE FLOW	Aminotriazole et 2,4-MCPA	(400 et 100) g/l	7 à 8 l/ha
	KALACH	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	MAMBA	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	OMNIQUAT	Paraquat	194,6 g/l	2 à 4 l/ha
	OURAGAN	Sulfosate	480 g/l	3 l/ha
	ROUND'UP	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	ROUND'UP ENERGY	Glyphosate	68 pc	1,5 kg/kg
	RONSTAR	Oxadiazon	250 g/l	4 l/ha
	WEEDAZOL TL	Amitrole	240 g/l	10 à 15 l/ha
	WEEDAZOL TS	Aminotriazole et thiocyanate de sodium	(442,5 et 37,7) g/l	10 à 15 l/ha
Dicotylédones pérennes	CENTAURE	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	CLINIC	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	HERITROL FORTE	Aminotriazole, 2,4-MCPA et atrazine	(400, 100 et 200) g/l	4 à 8 l/ha
	HERZOL FORTE FLOW	Aminotriazole et 2,4-MCPA	(400 et 100) g/l	7 à 8 l/ha
	KALACH	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	MAMBA	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	OURAGAN	Sulfosate	480 g/l	10 l/ha
	ROUND'UP	Glyphosate	360 g/l	12 l/ha
	WEEDAZOL TL	Amitrole	240 g/l	20 à 30 l/ha

	WEEDAZOL TS	Aminotriazole et thiocyanate de sodium	(442,5 et 37,7) g/l	20 à 30 kg/ha
	BASTA FI	Glufosinate-ammonium	150 g/l	3 l/ha
	CENTAURE	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	CLINIC	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	FUSILADE SUPER	Fluazifop-P-butyl	125 g/l	1 à 2 l/ha
	GESATOP 500 FW	Simazine	50 pc	3 à 5 l/ha
	GRAMOXONE	Paraquat	200 g/l	2 à 4 l/ha
	HERITROL FORTE	Aminotriazole, 2,4-MCPA et atrazine	(400, 100 et 200) g/l	4 à 8 l/ha
Graminées annuelles	HERZOL FORTE FLOW	Aminotriazole et 2,4-MCPA	(400 et 100) g/l	7 à 8 l/ha
	KALACH	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	MAMBA	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	OMNIQUAT	Paraquat	194,6 g/l	2 à 4 l/ha
	OURAGAN	Sulfosate	480 g/l	3 l/ha
	RONSTAR	Oxadiazon	250 g/l	4 l/ha
	ROUND'UP	Glyphosate	360 g/l	3 l/ha
	ROUND'UP ENERGY	Glyphosate	68 pc	1,5 kg/ha
	CENTAURE	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	CLINIC	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	FOCUS ULTRA	Cycloxydime	100 g/l	4 l/ha
	FUSILADE SUPER	Fluazifop-P-butyl	125 g/l	6 l/ha
	HERITROL FORTE	Aminotriazole, 2,4-MCPA et atrazine	(400, 100 et 200) g/l	4 à 8 l/ha
Graminées pérennes	HERZOL FORTE FLOW	Aminotriazole et 2,4-MCPA	(400 et 100) g/l	7 à 8 l/ha
	KALACH	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	MAMBA	Glyphosate	360 g/l	6 l/ha
	OURAGAN	Sulfosate	480 g/l	10 l/ha
	RONSTAR	Oxadiazon	250 g/l	4 l/ha
	ROUND'UP	Glyphosate	360 g/l	7 l/ha
	WEEDAZOL TL	Amitrole	240 g/l	20 à 30 l/ha

	WEEDAZOL TS	Aminotriazole et thiocyanate de sodium	(442,5 et 37,7) g/l	20 à 30 kg/ha
Acariens	AGRODIME 400	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	AKABAR PM 25	Cyhéxatin	25 pc	100 g/hl
	ALFACID MAJOR 600 SC	Cyhéxatin et tétradifon	(400 et 200) g/l	75 à 100 cc/hl
	ARTILA	Dicofol	25 pc	200 g/hl
	AZODRIN 40	Monocrotophos	400 g/l	125 cc/hl
	CALLIDIM	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	CALLIFOL	Dicofol	480 g/l	100 cc/hl
	CAPFOL 18,5 WP	Dicofol	18,5 pc	270 g/hl
	CAPFOL 48 EC	Dicofol	480 g/l	100 cc/hl
	CASCADE	Flufénoxuron	100 g/l	15 cc/hl
	CEKUDIT	Dicofol et tétradifon	(160 et 60) g/l	200 cc/hl
	CERACIDE 420	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	100 à 150 cc/hl
	CESAR	Héxythiazox	10 pc	50 g/hl
	DANITOL	Fenpropathrine	100 g/l	75 cc/hl
	DICOFAN	Dicofol et tétradifon	(160 et 60) g/l	200 cc/hl
	DICOLTHANE 50	Dicofol	480 g/l	100 cc/hl
	DICOLTHANE PM	Dicofol	18,5 pc	200 g/hl
	DIMETROX 40	Diméthoate	400 g/l	75 à 100 cc/hl
	DIMEZYL EC 40	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIMOR	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	ENDOPRON	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	INSECTICIDE 101	Huile blanche	780 g/l	1,5 à 1,7 l/hl
	KELTHANE MF	Dicofol	480 g/l	100 cc/hl
	KELTHANE W 35	Dicofol	35 pc	100 g/hl
	KT 22	Dicofol et tétradifon	(160 et 60) g/l	200 à 250 g/hl
	MITAC 20 EC	Amitraze	200 g/l	100 cc/hl
	NAJA	Fenpyroximate	50 g/l	100 cc/hl
	NEORON 500 EC	Bromopropylate	500 g/l	100 cc/hl
	OMITE 30 WP	Propargite	30 pc	250 g/hl
	PEROPAL 25 WP	Azocyclotin	25 pc	100 g/hl

	PHYTOATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	PRIDE 200 SC	Fenazaquin	200 g/l	37,5 à 40 cc/hl
	PROFOL	Dicofol	480 g/l	100 à 150 cc/hl
	ROGOR L 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	RTILAFOL	Dicofol	480 g/l	100 cc/hl
	SEDOATE 40 EC	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	SUPEROATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	TAMARON 400 SL	Méthamidophos	400 g/l	150 cc/hl
	TEDION	Tétradifon	75,2 g/l	150 à 200 cc/hl
	TETRAFOL	Dicofol et tétradifon	(160 et 60) g/l	200 à 250 cc/hl
Aleurodes	ADMIRAL 10 EC	Pyriproxifène	100 g/l	25 cc/hl
	CONFIDOR 200 SL	Imidaclopride	200 g/l	75 cc/hl
	MAVRIK 2F	Tau-fluvalinate	240 g/l	15 à 20 cc/hl
	MOSPILAN 20 SP	Acétamipride	20 pc	30 cc/hl
	AGRODIME 400	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	ASTOR 100 OESC	Alphacyperméthrine et huile minérale	(100 et 142) g/l	100 cc/ha
	BLOUZ	Hydrolysats de protéines	300 g/l	1 à 1,5 kg/hl
	CALLICERA	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	0,8 à 1 l/ha
	CALLIDIM	Diméthoate	400 g/l	1 l/ha
	CALLIMAL 50	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	CERACIDE 420	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	100 à 150 cc/hl
	CERAGRUM	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	150 cc/hl ou 1 l/ha
Cératite	CERAKIL	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	150 cc/hl
	CERATE DM	Malathion et diméthoate	(300 et 120) g/l	150 cc/ha
	CERATENE LIQUIDE	Hydrolysats de protéines	330 g/l	1 à 1,5 kg/ha
	DIMETHOATE 40 EC	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	DIMETROX 40	Diméthoate	400 g/l	75 à 100 cc/hl
	DIMEZYL EC 40	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIMOR	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIPTEREX 80 SP	Trichlorfon	80 pc	150 g/hl
	ENDOPRON	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	KARATE 5 EC	Lambda-cyhalothrine	50 g/l	100 cc/ha

	LEBAYCID 50 EC	Fenthion	500 g/l	0,3 à 0,5 l/ha
	MALACHIM 500	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	MALAPRON	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	MALATHION 50	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	OIKOS	Azadirachtin	31,95 g/l	80 cc/hl
	PHYTOATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	POLATHION 50	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	PROMATEINE	Hydrolysate de protéines	300 g/l	100 à 150 cc/hl
	PROMETHION	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	ROGOR L 40	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	SEDOATE 40 EC	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	SIF MALATHION 50	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	SUCCESS APPAT	Spinosade	4,5 pc	1 l/ha
	SUPERATHION 50 EC	Malathion	500 g/l	200 cc/hl
	SUPEROATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	TRICHLORFON	Trichlorfon	80 pc	100 à 150 g/hl
Cochenilles	ADMIRAL 10 EC	Pyriproxyfène	100 g/l	35 cc/hl
	AZODRIN 40	Monocrotophos	400 g/l	125 cc/hl
	BP OLEOPRON	Huile blanche	730 g/l	1,5 l/hl
	DURACID 480 EC	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	DURSBAN 4	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	EXOCIDE 48 EC	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	INSECTICIDE 101	Huile blanche	780 g/l	1,5 à 1,7 l/hl
	METHIDAXIDE 40	Méthidathion	420 g/l	150 cc/hl
	PROMAZIT BLANCHE	Huile minérale	770 g/l	1,5 à 2 l/hl
	ULTRACIDE 40 EC	Méthidathion	420 g/l	150 cc/hl
Mineuse des feuilles	CASCADE	Flufenoxuron	100 g/l	35 cc/hl
	CONFIDOR 200 SL	Imidaclopride	200 g/l	50 cc/hl
	CONSULT 100 EC	Hexaflumuron	100 g/l	50 cc/hl
	DIMILIN 25 PM	Diflubenzuron	25 pc	40 g/hl
	EVISECT S	Thiocyclam hydrogène oxalate	50 pc	50 g/hl
	MOSPILAN 20 SL	Acétamipride	200 g/l	2 cc/hl

	MOSPILAN 20 SP	Acétamipride	20 pc	20 g/hl
	NEEMIX 4,5	Azadirachtin	45 g/l	70 cc/hl
	OIKOS	Azadirachtin	31,95 g/l	70 cc/hl
	OKAY 100 EC	Alanycarbe	100 g/l	150 cc/hl
	RIMON 10 EC	Novaluron	100 g/l	50 cc/hl
	TRACER 480 SC	Spinosade	480 g/l	20 cc/hl et 1 l de l'huile paraffinique
	VERTIMEC 018 EC	Abamectin	18 g/l	25 cc/hl
Pou de californie	ADMIRAL 10 EC	Pyriproxyfène	100 g/l	35 cc/hl
	CYREN 480 EC	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	DURSBAN 75 WG	Chlorpyrifos-éthyl	75 pc	100 g/hl
	MARSCHAL 20 SC	Carbosulfan	200 g/l	150 cc/hl
	OKAY 100 EC	Alanycarbe	100 g/l	150 cc/hl
	PYCHLOREX 48 EC	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	PYRICAL 480	Chlorpyrifos-éthyl	480 g/l	150 cc/hl
	RELDAN 40 EC	Chlorpyrifos-méthyl	400 g/l	190 cc/hl
	METHIDAXIDE 40	Méthidathion	420 g/l	150 cc/hl
Pucerons	AGRODIME 400	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	AZODRIN 40	Monocrotophos	400 g/l	125 cc/hl
	CALLIDIM	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIMETHOATE 40 EC	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIMETROX 40	Diméthoate	400 g/l	75 à 100 cc/hl
	DIMEZYL EC 40	Diméthoate	400 g/l	100 cc/hl
	DIMOR	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	ENDO 35 EC	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	ENDOPRON	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	ENDOSULFAN 35	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	JIVE	Chlorpyrifos et cyperméthrine	(200 et 20) g/l	140 cc/hl
	ORTHENE 50	Acéphate	500 g/kg	100 g/hl
	PHYTOATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	PRIMOR 50 DG	Pirimicarbe	50 pc	75 g/hl
	PROMETHION	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	PROSULFAN	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl

	ROGOR L 40	Diméthoate	400 g/l	75 cc/hl
	SEDOATE 40 EC	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	SPENDOS EC 35	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	SUPEROATE 40	Diméthoate	400 g/l	50 à 100 cc/hl
	TAMARON 400 SL	Méthamidophos	400 g/l	150 cc/hl
	THIODAN 35 EC	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	THIONEX 35 EC	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	THIORDAX 35 EC	Endosulfan	350 g/l	175 cc/hl
	TREBON 20 EC	Etofenprox	200 g/l	50 cc/hl
	ZOLONE PM	Phosalone	30 pc	150 à 200 g/hl
Serpette australienne	METHIDAXIDE 40	Méthidathion	420 g/l	150 cc/hl
Tordeuse	TAMARON 400 SL	Méthamidophos	400 g/l	150 cc/hl
	ALIETTE	Phosétyl-aluminium	80 pc	250 g/hl
	BLEUE SHIELD WP	Hydroxyde de cuivre	50,16 pc	500 g/hl
	BORDEAUX CAFFARO	Sulfate de cuivre	80 pc	1,25 kg/5 l d'eau
	BOUILLIE			
	BORDELAISE VALLES BLEUE	Sulfate de cuivre	20 pc	1,25 kg/5 l d'eau
	CHEM COPP 50	Oxyde de cuivre	57 pc	500 g/hl
	COBOX	Oxychlorure de cuivre	80 pc	500 g/hl
	COPROLUX BLEU	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
Gommose à phytophtora	COPRONTOL BLEU	Oxychlorure de cuivre	87 pc	500 g/hl
	COVINEX FORTE	Sulfure de cuivre, oxychlorure de cuivre, manèbe et zinèbe	(42,5, 18, 7,5, et 7,5)	250 à 300 g/hl
	CUIVROBOR	Sulfate de cuivre	20 pc	1,25 kg/5 l d'eau
	CUPRA-50	Oxyde de cuivre	50 pc de cuivre métal	500 g/hl
	CUPRENOX 50 BLEU	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	CUPROMAGRI	Oxychlorure de cuivre et zinèbe	(37,5 et 16) pc	1 kg/10 l
	CURENOX FLOW 52	Oxychlorure de cuivre	52 pc de cuivre métal	0,25 l/hl
	HELMOXY 50 WP	Oxychlorure de cuivre	85 pc	500 g/hl

	HYDROX	Hydroxyde de cuivre	360 g/l	500 cc/hl
	OLEONORDOX	Oxyde cuivreux et huile minérale	(47 et 25) pc	3 kg/10 l d'eau
	OXYCUPRON	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	OXYCURE	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	OXYPAR 50	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	OXYRALE 50	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	PASTA CAFFARO	Oxychlorure de cuivre	25 pc cuivre métal	0,5 l/hl
	SULFACOP	Sulfate de cuivre	20 pc	1,25 kg/5 l d'eau
	SUPER COLOSS	Sulfate de cuivre	80 pc	1,25 kg/5 l d'eau
	SUPROXYDE FLO	Hydroxyde de cuivre	360 g/l	500 g/hl
	VITRA	Hydroxyde de cuivre	77 pc	500 g/hl
Pourriture brune	ALFACUIVRE	Oxychlorure tetracuiorique	40 g/l	300 à 500 cc/hl
	ALIETTE	Phosétyl-aluminium	80 pc	250 g/hl
	CHAMPION	Hydroxyde de cuivre	50 pc	500 g/hl
	CUPRENE 50	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	FONGICUIVRE	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
	KOCIDE 101	Hydroxyde de cuivre	77 pc	500 g/hl
	OXYCUIVRE 50	Oxychlorure de cuivre	50 pc	500 g/hl
Nématodes	MOCAP 10 G	Ethoprophos	10 pc	100 kg/ha
	NEMACUR 10 G	Phenamiphos	10 pc	30 g/m_
	DD 92	Dichloropropène	1113 g/l	500 l/ha
	TELONE II	Dichloropropène	1108 g/l	200 l/ha
Pourriture	FUNGAFLOR 500 EC	Imazalil	500 g/l	2000 ppm/l de cire
	FRUITFOG-M/I	Thiophanate-méthyl et imazalil	(12 et 10) pc	600 g/25 tonnes de fruits
	KENOPEL	Guazatine	20 pc	1000 ppm
	KENOPEL 20 SL	Guazatine	200 g/l	100 g/hl
	MAGNATE 80 EC	Imazalil	800 g/l	3 g/kg de cire/tonne d'agrumes
	TECTO 500 SC	Thiabendazole	500 g/hl	0,75 l/hl de cire
	TECTOCAL	Thiabendazole	600 g/l	4000 ppm

Annexe 7 : Transport des fertilisants et des pesticides depuis le lieu de fabrication jusqu'au lieu d'utilisation

A défaut de données fiables disponibles et afin de prendre en compte le transport des intrants (fertilisants et pesticides), on calcule leur transport à partir d'une fiche Ecoinvent : *Barley grains conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U*. A l'aide d'une règle de trois, il est alors possible de transposer la valeur de transport de cette fiche de référence à nos deux cas d'étude : le verger SN et le verger OC.

Fiche Ecoinvent de référence :

REFERENCE DE CALCUL :	
<i>Barley grains conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U</i>	1 kg
Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U	0,020077 kg
Triple superphosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER U	0,0057467 kg
Potassium chloride, as K ₂ O, at regional storehouse/RER U	9,81E-05 kg
<i>tot fertilisants</i>	<i>0,0259 kg</i>
Diphenylether-compounds, at regional storehouse/RER U	8,33E-06 kg
Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U	8,23E-05 kg
Pyretroid-compounds, at regional storehouse/RER U	1,00E-06 kg
Cyclic N-compounds, at regional storehouse/RER U	3,83E-05 kg
<i>tot phyto</i>	<i>0,00013 kg</i>
<i>TOT ferti+phyto</i>	<i>0,02605 kg</i>
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U	0,0003239 tkm

Verger SN (Souss) :

Pour 1 kg de Nour :	Année 4	%	Année 5	%	Année 6	%	Année 7	%	Année 8	%	Années 9-25	%
Rendement (kg/ha)	5000		10000		15000		20000		25000		28000	
Quantité fertilisants (kg/kg Nour)	0,0340	0,92	0,0230	0,94	0,0197	0,94	0,0180	0,95	0,0166	0,95	0,0161	0,96
Quantité pesticides (kg/kg Nour)	0,00294	0,08	0,00147	0,06	0,00132	0,06	0,00099	0,05	0,000792	0,05	0,00071	0,04
Total ferti+phyto (kg/kg Nour)	0,0369	1	0,0245	1	0,0210	1	0,0190	1	0,0174	1	0,01678	1
Transport ferti+phyto (tkm/kg fruits)	0,0004593		0,0003042		0,0002609		0,0002361		0,0002162		0,0002086	

Années :	1	2	3	4	5	6	7	8	9 à 25	Appellation sous Simapro
Transport fertilisants (tkm)	0,000423	0,000423	0,000423	2,114	2,860	3,668	4,476	5,160	5,595	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER S
Transport pesticides (tkm)	0,000037	0,000037	0,000037	0,183	0,183	0,246	0,246	0,246	0,246	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER S
			0,073					0,246		

Verger OC (Oriental) :

Pour 1 kg de Cadoux :	Année 4	%	Année 5	%	Année 6	%	Année 7	%	Année 8	%	Année 9	%	Année 10	%	Année 11	%	Années 12-40	%
Rendement (kg/ha)	3000		6000		8000		10000		14000		17000		20000		22000		24000	
Quantité fertilisants (kg/kg Nour)	0,0383	0,89	0,0259	0,91	0,0249	0,91	0,0244	0,92	0,0202	0,93	0,0193	0,94	0,0192	0,95	0,0184	0,95	0,0169	0,95
Quantité pesticides (kg/kg Nour)	0,0049	0,11	0,0025	0,09	0,0025	0,09	0,0020	0,08	0,0014	0,07	0,0012	0,06	0,0010	0,05	0,0009	0,05	0,0008	0,05
Total ferti+phyto (kg/kg Nour)	0,0432	1	0,0283	1	0,0274	1	0,0264	1	0,0216	1	0,02046	1	0,02014	1	0,01931	1	0,01770	1
Transport ferti+phyto (tkm/kg fruits)	0,0005365		0,0003522		0,0003402		0,0003280		0,0002687		0,0002544		0,0002504		0,0002401		0,0002201	

Années :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 à 40	Appellation sous Simapro
Transport fertilisants (tkm)	0,000476	0,000476	0,000476	1,427	1,930	2,476	3,034	3,515	4,078	4,762	5,035	5,035	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER S
Transport pesticides (tkm)	0,000061	0,000061	0,000061	0,183	0,183	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER S
			0,073						0,246				

Annexe 8 : Exportation annuelle d'azote dans la structure d'un arbre

Age	N stocké/an/arbre (g/arbre)
1	0,2
2	0,8
3	2,7
4	4,9
5	12,2
6	15,8
7	23,3
8	25,9
9	32,0
10	40,8
11	36,6
12	51,2
13	41,4
14	56,0
15	33,8
16	39,9
17	46,0
18	36,8
19	21,5
20	27,6
21	52,2
22	36,8
23	36,8
24	36,8
25	36,8
26	12,3
27	24,6
28	24,6
29	12,3
30	12,3
31	6,1
32	6,1
33	0,0
34	0,0
35	0,0
36	0,0
37	0,0
38	0,0
39	0,0
40	0,0

Annexe 9 : Décomposition d'un kilogramme de clémentines issues de la vie entière du verger

Verger OC (Oriental) :

Année	Fiche Simapro	Rendement (t/ha)	1 kg Cadoux
4	4-CULTURE export_OC	3	0,00383
5	5-CULTURE export_OC	6	0,00766
6	6-CULTURE export_OC	8	0,0102
7	7-CULTURE export_OC	10	0,0128
8	8-CULTURE export_OC	14	0,0179
9	9-CULTURE export_OC	17	0,0217
10	10-CULTURE export_OC	20	0,0255
11	11-CULTURE export_OC	22	0,0281
12	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
13	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
14	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
15	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
16	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
17	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
18	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
19	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
20	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
21	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
22	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
23	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
24	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
25	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
26	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
27	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
28	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
29	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
30	12-->30-CULTURE export_OC	24	0,0306
31	31-CULTURE export_OC	23,8	0,0303
32	32-CULTURE export_OC	23,5	0,0300
33	33-CULTURE export_OC	23,3	0,0297
34	34-CULTURE export_OC	23,1	0,0294
35	35-CULTURE export_OC	22,8	0,0291
36	36-CULTURE export_OC	22,6	0,0289
37	37-CULTURE export_OC	22,4	0,0286
38	38-CULTURE export_OC	22,1	0,0283
39	39-CULTURE export_OC	21,9	0,0280
40	40-CULTURE export_OC	21,7	0,0277
Total		783,2	1

Verger SN (Souss) :

Année	Fiche Simapro	Rendement (t/ha)	1 kg Nour
4	4-CULTURE export_SN	5	0,00907
5	5-CULTURE export_SN	10	0,0181
6	6-CULTURE export_SN	15	0,0272
7	7-CULTURE export_SN	20	0,0363
8	8-CULTURE export_SN	25	0,0454
9	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
10	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
11	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
12	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
13	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
14	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
15	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
16	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
17	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
18	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
19	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
20	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
21	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
22	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
23	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
24	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
25	9-->25-CULTURE export_SN	28	0,0508
Total		551,0	1

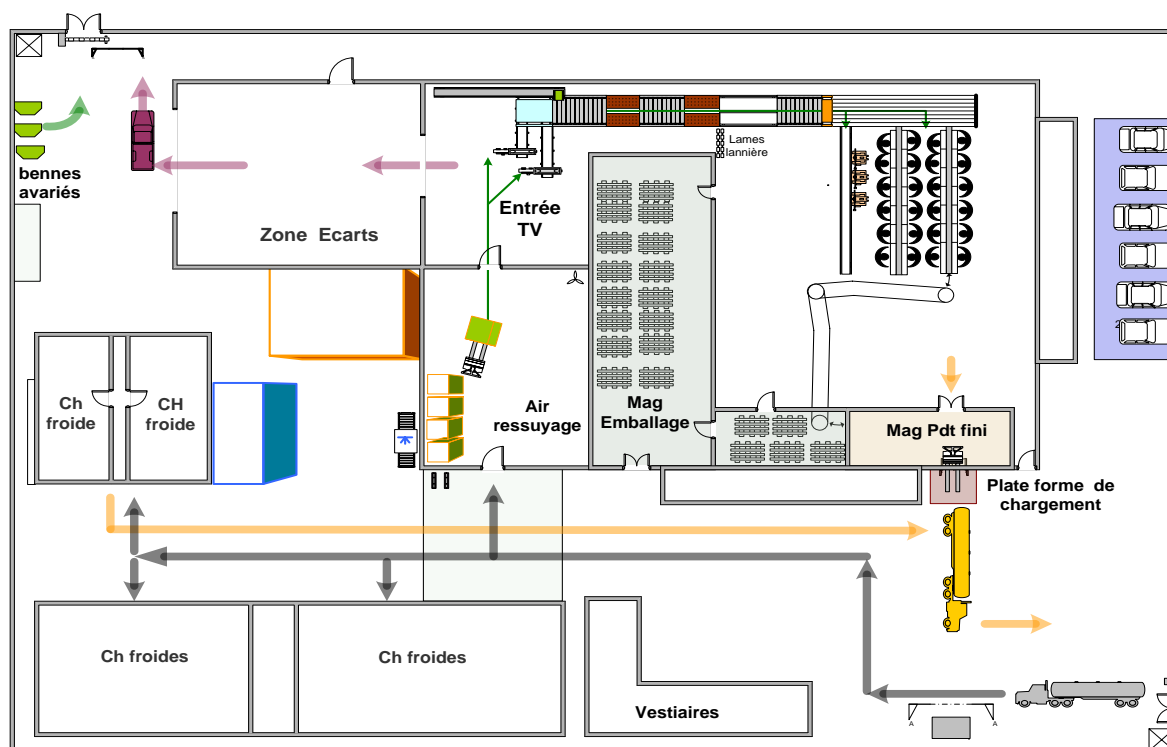
Annexe 10 : Machines agricoles utilisées sur le verger SN

Opération culturale	Matériel	Utilisation	Poids (kg)	Durée de vie technique (heures)	Durée d'une intervention (h/ha)	Nombre d'utilisation	Coefficient de réparation	Année(s) d'utilisation
Fertilisation	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (fertilisation)	2 358	15 000	1	3	0,74	4 à 25
Fertilisation	Atomiseur	Pulvérisation foliaire fertilisants + oligo	200	1 000	1	3	0,54	4 à 25
Traitement mineuse	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (mineuse)	2 358	15 000	1	3	0,74	1 à 5
Traitement mineuse	Atomiseur	Pulvériser phyto (mineuse)	200	1 000	1	3	0,54	1 à 5
Traitement cératite	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (cératite)	2 358	15 000	1	2	0,74	6 à 25
Traitement cératite	Atomiseur	Pulvériser phyto (cératite)	200	1 000	1	2	0,54	6 à 25
Application régulateur de croissance	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (reg.croissance)	2 358	15 000	1	2	0,74	6 à 25
Application régulateur de croissance	Atomiseur	Pulvériser phyto (reg.croissance)	200	1 000	1	2	0,54	6 à 25
Traitement pou de californie	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter pulvérisateur (pou de californie)	2 358	15 000	5	0,33	0,74	6 à 25
Traitement pou de californie	Pulvérisateur à lances	Pulvériser phyto (pou californie)	200	1 000	5	0,33	0,54	6 à 25
Désherbage chimique	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter pulvérisateur (désherbage chimique)	2 358	15 000	2	2	0,74	1 à 25
Désherbage chimique	Pulvérisateur à lances	Pulvériser phyto (désherbage chimique)	200	1 000	2	2	0,54	1 à 25
Récolte	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter remorque	2 358	15 000	9	1	0,74	4 à 25
Récolte	Remorque	Récolte fruits	500	10 000	9	1	0,22	4 à 25
Désherbage mécanique	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter gyrobroyeur	2 358	15 000	0,5	2	0,74	1 à 25
Désherbage mécanique	Gyrobroyeur	Faucher adventices en inter-rang	600	5 000	0,5	2	0,54	1 à 25
Broyage bois de taille	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter broyeur bois de taille	2 358	15 000	2	1	0,74	7 à 25
Broyage bois de taille	Broyeur bois de taille	Broyer bois de taille en inter-rang	500	1 000	2	1	0,54	7 à 25
Sous-solage	Tracteur Landini (80 CV)	Tracter sous-soleur	3 700	15 000	0,5	1	0,74	1 à 25
Sous-solage	Sous-soleur	Travail profond en inter-rang pour drainer	500	240	0,5	1	0,72	1 à 25
Irrigation	Pompe nappe	Irrigation	500	30 000	variable	-	0,54	1 à 25
Irrigation	Pompe verger	Irrigation	300	30 000	variable	-	0,54	1 à 25
Irrigation	Filtre à sable (acier)	Filtrer l'eau d'irrigation	500	11 000	variable	-	1,1	1 à 25
Irrigation	Filtre à sable (sable)	Filtrer l'eau d'irrigation	250	11 000	variable	-	1,5	1 à 25
Irrigation	Canalisation entre bassin et verger	Irrigation	4 710	50 000	variable	-	0,54	1 à 25
Irrigation	Porte-rampe d'irrigation	Irrigation	65	15 000	variable	-	1,1	1 à 25
Irrigation	Tuyaux d'irrigation (gainés)	Irrigation	5,1	2 200	variable	-	1	1 à 25
Pépinière	Pompe nappe	Irrigation	500	30 000	0,0017	-	0,54	-
Pépinière	Pompe verger	Irrigation	300	30 000	0,015	-	0,54	-
Pépinière	Filtre à sable (acier)	Filtrer l'eau d'irrigation	500	11 000	0,015	-	1,1	-
Pépinière	Filtre à sable (sable)	Filtrer l'eau d'irrigation	250	11 000	0,015	-	1,5	-

Annexe 11 : Machines agricoles utilisées sur le verger OC

Opération culturale	Matériel	Utilisation	Poids (kg)	Durée de vie technique (heures)	Durée d'une intervention (h/ha)	Nombre d'utilisation	Coefficient de réparation	Année(s) d'utilisation
Fertilisation	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter épandeur (fertilisation)	2 358	15 000	1	3	0,74	6 à 40
Fertilisation	Epandeur	Epandage d'engrais	100	5 000	1	3	0,54	6 à 40
Traitement mineuse	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (mineuse)	2 358	15 000	1	3	0,74	1 à 5
Traitement mineuse	Atomiseur	Pulvériser phyto (mineuse)	200	1 000	1	3	0,54	1 à 5
Traitement cératite	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (cératite)	2 358	15 000	1	2	0,74	6 à 40
Traitement cératite	Atomiseur	Pulvériser phyto (cératite)	200	1 000	1	2	0,54	6 à 40
Application régulateur de croissance	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter atomiseur (reg.croissance)	2 358	15 000	1	2	0,74	6 à 40
Application régulateur de croissance	Atomiseur	Pulvériser phyto (reg.croissance)	200	1 000	1	2	0,54	6 à 40
Traitement pou de californie	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter pulvérisateur (pou de californie)	2 358	15 000	5	0,33	0,74	6 à 40
Traitement pou de californie	Pulvérisateur à lances	Pulvériser phyto (pou californie)	200	1 000	5	0,33	0,54	6 à 40
Désherbage chimique	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter pulvérisateur (désherbage chimique)	2 358	15 000	2	2	0,74	1 à 40
Désherbage chimique	Pulvérisateur à lances	Pulvériser phyto (désherbage chimique)	200	1 000	2	2	0,54	1 à 40
Récolte	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter remorque	2 358	15 000	7,7	1	0,74	4 à 40
Récolte	Remorque	Récolte fruits	500	10 000	7,7	1	0,22	4 à 40
Désherbage mécanique	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter cover-crop	2 358	15 000	1	2	0,74	1 à 40
Désherbage mécanique	cover-crop	Enfouir adventices en inter-rang	600	5 000	1	2	0,54	1 à 40
Création de billons (irrig. Gravitaire)	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter Charrue billonneuse	2 358	15 000	2	4	0,74	1 à 40
Création de billons (irrig. Gravitaire)	Charrue billonneuse	Créer des buttes pour l'irrigation	600	5 000	2	4	0,54	1 à 40
Broyage bois de taille	Tracteur Massey Ferguson (65 CV)	Tracter broyeur bois de taille	2 358	15 000	2	1	0,74	7 à 40
Broyage bois de taille	Broyeur bois de taille	Broyer bois de taille en inter-rang	500	1 000	2	1	0,54	7 à 40
Pépinière	Pompe nappe	Irrigation	500	30 000	0,0017	-	0,54	-
Pépinière	Pompe verger	Irrigation	300	30 000	0,015	-	0,54	-
Pépinière	Filtre à sable (acier)	Filtrer l'eau d'irrigation	500	11 000	0,015	-	1,1	-
Pépinière	Filtre à sable (sable)	Filtrer l'eau d'irrigation	250	11 000	0,015	-	1,5	-

Annexe 12 : Plan d'une station de conditionnement



Annexe 13 : Chaîne de conditionnement des petits agrumes**Diagramme de flux et étapes de processus :**